

Titulo de la Investigación

Potencial de inserción del INTEC en el Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kioto, mediante la utilización de fuentes renovables de energía

Responsable del Proyecto (Investigador/a principal)

Profesor Máximo Campusano, MSc.

Integrantes (Investigadores y asistentes)

Luis Alberto Guillermo

Arsenio Álvarez

José Santana, Embajador Presidente CIACT

Cándido Enrique Quintana Pérez

Tipo de proyecto: a) investigación básica o teórica, b) investigación aplicada, d) desarrollo tecnológico o experimental)

Investigación Aplicada.

Área en la que se inscribe el proyecto

Energía y Medio Ambiente

Fecha de inicio: 5 de Mayo de 2011

Objetivos:

Determinar con rigor científico el potencial de inserción del área objeto de estudio en un posible proyecto del MDL del protocolo de Kioto.

Determinar la factibilidad de aplicación real de un proyecto de las características propuestas y sus posibles repercusiones ambientales y financieras.

Cronograma (unidad de tiempo: meses.)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Estudio del estado del arte	X	X										
Búsqueda de Información		X	X									
Procesamiento de los datos				X	X	X	X	X	X	X		
Análisis de los resultados										X	X	
Realización de informe final												X

Como se aprecia en la tabla anterior durante los trimestres tercero y cuarto las tareas previstas eran la finalización del procesamiento de datos, el análisis de los resultados y la realización del informe final.

- Finalización procesamiento de datos Cumplimiento 100%
- Análisis de los resultados Cumplimiento 100%
- Realización del informe final. Cumplimiento 100%

Además se tenía prevista la presentación de un trabajo en un evento científico internacional, una publicación científica y la graduación exitosa de un estudiante de la maestría en Tecnologías de Energías Renovables.

Las dos primeras tareas ya habían sido cumplidas e informadas oportunamente. Recientemente presentó su trabajo final y obtuvo la calificación de excelente el maestrante Arsenio Álvarez Jackson.

Se considera que el cumplimiento de lo planificado y comprometido en el proyecto ha sido de un 100%

A continuación se exponen los principales resultados científicos a que se arriba al dar por concluidos los trabajos del proyecto en la primera etapa.

Tabla de contenido

RESUMEN DE TABLAS	5
RESUMEN FIGURAS	6
CAPITULO I.....	10
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
1.1 Introducción.....	10
1.2 Justificación del estudio.....	12
1.3 Objetivo General	13
1.4 Objetivos específicos	13
CAPITULO II.....	15
II. REFERENTES CONCEPTUALES	15
2.1 Mecanismo de Desarrollo Limpio del Tratado de Kyoto.....	15
2.2 Tecnologías Fotovoltaicas.....	21
2.2.1 Tecnología Solar Fotovoltaica de Silicio Cristalino	22
2.2.1.1 Silicio Monocristalino.....	22
2.2.1.2 Silicio Policristalino	24
2.2.2 Tecnología Solar Fotovoltaica de Película Fina.....	25
2.2.2.1 Silicio Amorfo.....	26
2.2.2.2 Célula Policristalina	30
2.2.2.2.1 CIS.....	30
2.2.2.2.2 CdTe.....	34
2.2.3 Tecnología Solar Fotovoltaica por Concentración	36
CAPITULO III.....	44
III. METODOLOGIA DE CÁLCULO	44
3.1 Enfoque Metodológico.....	44
3.2 Técnicas Metodológicas	44
3.3 Datos de Partida.....	44
3.4 Datos estadísticos de Irradiación.....	45
3.5 Históricos de consumos eléctricos del INTEC	45
3.6 Medición de áreas (m ²) de las instalaciones.....	45
3.7 Procedimiento	45
CAPITULO IV	48

IV.	RESULTADOS	48
4.1	Datos de Partida.....	48
4.1.1	Data Radiación Solar	48
4.1.2	Irradiación en el Plano Horizontal.....	49
4.1.3	Consumo eléctrico MWh	50
4.2	Medición y Datos de las Áreas	51
4.2.1	Instalaciones del INTEC.....	52
4.2.2	Instalaciones Oficina Nacional de la Propiedad Intelectual (ONAPI)	53
4.2.3	Instalaciones de la Escuela Fray Ramón Pané	53
4.2.4	Terreno 1	53
4.2.5	Terreno 2	53
4.3	Evaluación y Potencial de Áreas	54
4.4	Análisis de Capacidad “kW”	54
4.5	Variantes.....	58
4.6	Generación de Energía Eléctrica.....	59
4.7	Créditos de Carbono	62
4.8	Análisis de Factibilidad	64
4.8.1	Incentivos de la Ley 57/07.....	65
4.8.2	Precios de la Energía	65
4.8.3	Tasa de Inflación.....	66
4.8.4	Tasa Descuento	66
4.8.5	Tasa de Riesgo	66
4.8.6	Tasa de Inflación.....	66
4.8.7	Tasa de interés sin Riesgo	66
4.8.8	Presupuestos	66
4.8.9	Precio Crédito de Carbono “CER”	67
4.8.10	Análisis.....	67
4.8.10.1	Tecnología Silicio Monocristalino	67
4.8.10.2	Tecnología Película Fina [R].....	70
4.8.10.3	Tecnología Película Fina [F]	72
4.9	Resumen de Resultados	75
	CAPITULO V.....	78
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	78
5.1	Conclusiones.....	78

RESUMEN DE TABLAS

Tabla 1: Eficiencia Célula Si C	22
Tabla 2: Eficiencia Módulo Si C.....	23
Tabla 3: Los diez Fabricantes topes del mercado actual en tecnología Si C	24
Tabla 4: Eficiencia Célula Si P	25
Tabla 5: Eficiencia Módulo Si P.....	25
Tabla 6: Fabricantes con Tecnología Si:P	25
Tabla 7: Avances en las células solares a-Si:H.....	27
Tabla 8: Eficiencia Célula a Si.....	29
Tabla 9: Fabricantes con Tecnología a-Si	29
Tabla 10: Proyección Eficiencia a-Si-Ge.....	30
Tabla 11: Fabricantes con Tecnología CIS	31
Tabla 12: Eficiencia Célula CIGS	32
Tabla 13: Eficiencia Módulo CIGS	32
Tabla 14: Los diez Fabricantes topes del mercado actual en tecnología CIS/CIGS	33
Tabla 15: Proyección Eficiencia CIGS.....	33
Tabla 16: Eficiencia Célula CdTe	35
Tabla 17: Eficiencia Módulo CdTe	35
Tabla 18: Fabricantes con Tecnología CdTe	35
Tabla 19: Proyección Eficiencia CdTe.....	35
Tabla 20: Celda Fotovoltaica por Concentración.....	36
Tabla 21: Eficiencia Célula.....	37
Tabla 22: Eficiencia Módulo	37
Tabla 23: Eficiencia Sub-módulo.....	37
Tabla 24: Fabricantes paneles con concentración fotovoltaica.....	38
Tabla 25: Eficiencias Tecnologías	39
Tabla 26: Costos del kW por Tecnología en US\$	40
Tabla 27: Resumen de Paneles FV por Tecnología	41
Tabla 28: Irradiación en el Plano Horizontal kWh/m ² /día	49
Tabla 29: Consumo anual del INTEC.....	50
Tabla 30: Instalaciones del INTEC.....	52
Tabla 31: Evaluación y Potencial de Áreas	54
Tabla 32: Eficiencias y Áreas Módulo Fotovoltaicos.....	55
Tabla 33: Relación Áreas Factor Utilización.....	56
Tabla 34: Análisis de capacidad kW.....	57
Tabla 35: Capacidad Variantes según Tecnología	58
Tabla 36: Generación de Energía Eléctrica Anual	60
Tabla 37: Compra y Venta de Energía_Variante 5	62
Tabla 38: Créditos de Carbono eGRID 2005	62
Tabla 39: Créditos de Carbono RETScreen.....	63

Tabla 40: Incentivos de la Ley 57/07	65
Tabla 41: Precios de la Energía Eléctrica.....	65
Tabla 42: Presupuestos	67
Tabla 43: Datos de Entrada Análisis de Factibilidad_Variante 5_Tec. Silicio MonoC.....	68
Tabla 44: Resultados Variante 5_Tec Silicio MonoC.....	68
Tabla 45: Datos de Entrada Análisis de Factibilidad_Variante 5_Película F [R]	70
Tabla 46: Resultados Variante 5_Tec. Película F [R].....	70
Tabla 47: Datos de Entrada Análisis de Factibilidad_Variante 5_Película F [F].....	72
Tabla 48: Resultados Variante 5_Tec. Película F [F].....	73
Tabla 49: Análisis de Factibilidad_Resumen de Resultados.....	75

RESUMEN FIGURAS

Figura 1: Celda Si C	22
Figura 2: Celda Silicio Policristalino.....	24
Figura 3: Estabilidad de Potencia en Celdas de Película Fina.....	28
Figura 4: Panel Flexible a:Si	28
Figura 5: Celda CIS.....	31
Figura 6 Panel CIGS (fuente Miasole).....	32
Figura 7: Celda Fotovoltaica por Concentración	36
Figura 8: Eficiencias Tecnologías	40
Figura 9: Mapa Solar de la República Dominicana	49
Figura 10: Consumo mensual.....	51
Figura 11: Análisis de Capacidad.....	57
Figura 12: Capacidad Variantes según Tecnología	59
Figura 13: Generación de Energía Eléctrica Anual	61
Figura 14: Cantidades tCO2 / Año	64
Figura 15: Flujo de Caja_Variante 5_Tec. Silicio MonoC.....	68
Figura 16: Sensibilidad TIR_Variante 5_Tec. Silicio MonoC	69
Figura 17: Sensibilidad VAN_Variante 5_Tec. Silicio MonoC	69
Figura 18: Flujo de Caja_Variante 5_Tec. Película Fina [R].....	71
Figura 19: Sensibilidad TIR_Variante 5_Tec. Película Fina [R]	71
Figura 20: Sensibilidad VAN_Variante 5_Tec. Película Fina [R]	72
Figura 21: Flujo de Caja_Variante 5_Tec. Película Fina [F]	73
Figura 22: Sensibilidad TIR_Variante 5_Tec. Película Fina [F].....	74
Figura 23: Sensibilidad VAN_Variante 5_Tec. Película Fina [F].....	74

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un estudio sobre el potencial de créditos de carbonos que el INTEC generaría, para insertarlos en el Mecanismo de Desarrollo Limpio, utilizando la tecnología solar fotovoltaica. El método de investigación utilizado fue el documental. Se hicieron investigaciones sobre las informaciones y datos divulgados de los Mecanismos de Desarrollo Limpio, de las tecnologías actuales fotovoltaicas, mediciones realizadas por el departamento de eficiencia del INTEC y medios impresos, tales como los planos arquitectónicos y eléctricos, y datos estadísticos de la irradiación del sitio. En el estudio se analizó el conjunto de áreas del INTEC, La Escuela Fray Ramon Pané y la Oficina Nacional de la Propiedad Industrial (ONAPI), con lo que se determinó la disponibilidad en extensión de cada una para instalar generadores fotovoltaicos. Con la disponibilidad de cada extensión se calculó la capacidad de cada generador fotovoltaico en función de las tecnologías fotovoltaicas sugeridas. Se realizaron evaluaciones de variantes en las que se combinaron tales áreas. Para los cálculos de generación eléctrica, captura de toneladas de CO₂ y los análisis de factibilidad, se realizaron corridas de varios programas de simulación tales como el Homer y el RETScreen. De acuerdo a los datos obtenidos se pudo determinar que con la tecnología silicio monocristalino se consiguieron mejores resultados tanto en la generación de créditos de carbono como a nivel de factibilidad. Se observó que la Variante 5, INTEC+Terreno 1, tendría una capacidad de captura anual de 2 440 toneladas de CO₂ así como una factibilidad aceptable (TIR 14,3%, VAN \$498 462,67 y TR 7,24 Años). Con esta variante los ingresos por conceptos de ventas de créditos de carbonos serían de unos US\$16 531 dólares anuales. Finalmente, con los precios actuales de las tecnologías, silicio monocristalino y película fina flexible, todas las variantes planteadas resultaron factibles.

SUMMARY

In this paper was determined the potential for carbon credits generation in INTEC, to insert in the Clean Development Mechanism, using solar photovoltaic technology. The research method used was documentary. Investigations were made on information and data made available from the Clean Development Mechanism, current photovoltaic technology, measurements performed by INTEC department, efficiency and print media, such as architectural drawings and electrical and statistical data for irradiation site. The study analyzed all areas of INTEC, Fray Ramon Pane School and Oficina Nacional de la Propiedad Industrial (ONAPI), which determined the availability of each extension to install photovoltaic generators. With the availability of each extension was calculated for each PV generator capacity according to the suggested photovoltaic technologies. Evaluations were made of variants that combined several areas. For calculations of annual electricity generation, CO₂ tons capture and feasibility analysis, runs were conducted through simulation programs such as Homer and RETScreen. According to the data obtained it was determined that crystalline silicon technology achieved better results in the generation of carbon credits at the level of feasibility. It was noted that Alternative 5, INTEC + Terreno 1, would have a capacity of 2 440 CO₂ tons capture and an acceptable feasibility (14.3% IRR, NPV \$ 498 462,67 & TR 7,24 years). With this variant revenue from the sale of carbon credits, would be about US\$16 531 per year. Finally, current prices of technologies, crystalline silicon and flexible thin film, all variants were raised feasible.

CAPITULO I
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

CAPITULO I

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Introducción

Actualmente el INTEC no posee un documento de carácter científico que presente el potencial de inserción en el mecanismo de desarrollo limpio del protocolo de Kioto utilizando la energía solar fotovoltaica.

Hipótesis de : El INTEC tiene un potencial en sus instalaciones para
Investigación: generar créditos de carbono e insertarlo en los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) utilizando la energía solar fotovoltaica como fuente de energía renovable

En el presente trabajo se hace un estudio para determinar el potencial que tendría el INTEC para generar créditos de carbono utilizando las instalaciones actuales.

La metodología a seguir es la investigación documental. Este estudio refleja el enfoque, criterios, conceptualizaciones, reflexiones, conclusiones, recomendaciones y, en general, el pensamiento del autor.

El objetivo principal del estudio es determinar qué cantidad de créditos de carbono se pueden generar con la energía solar fotovoltaica. No obstante, no es objeto de este estudio presentar el o los procesos para insertar tales créditos tanto a nivel nacional como internacional.

El capítulo II presenta el estado del arte de las tecnologías fotovoltaicas. Se persigue determinar cuáles tecnologías se considerarán en los análisis para calcular las capacidades de los generadores fotovoltaicos. Se presenta un cuadro resumido con los modelos, capacidad, tipo de tecnología y eficiencia de los paneles a considerar.

En el capítulo III se describe la metodología de cálculo a utilizar.

En el capítulo IV se presentan los resultados. Se utilizan programas de simulación para estimar las capacidades y demás datos como los son la generación eléctrica y las toneladas

de CO₂. Para ello, se insertan los datos de entradas concernientes al consumo eléctrico del INTEC y las radiaciones promedio mensuales de acuerdo a las coordenadas del lugar.

Las áreas a considerar en el estudio son las instalaciones del INTEC, La Escuela Fray Ramon Pané, La Oficina Nacional de Propiedad Intelectual (ONAPI), los terrenos del parqueo exterior y el área del terreno ubicado en la parte norte frente al INTEC.

Dado que no todas las áreas son aprovechables en su totalidad, se presenta una evaluación en función de la disponibilidad que las mismas tendrían para ubicar un generador fotovoltaico. El estudio presenta las imágenes y comentarios de las áreas de acuerdo al criterio del autor.

En función de las tecnologías consideradas y las áreas disponible se realiza un análisis de capacidad. El autor se refiere a la capacidad como la potencia instalada en kW que tendría cada generador fotovoltaico. En esta sección también se presentan las opciones o combinaciones de las áreas disponibles. Cada combinación forma parte de un conjunto de alternativas que pueden ser consideradas al momento de recomendar el generador fotovoltaico que más conviene al INTEC.

Determinada la generación de cada opción, se realizan cálculos para estimar la captura de las toneladas de CO₂. Para ello se utiliza un factor de conversión en función de la matriz de generación del sistema eléctrico nacional. Los valores obtenidos son los equivalentes a los créditos de carbono (CERs) a insertar en el Mecanismo de Desarrollo Limpio.

La factibilidad de las opciones se presenta en este estudio, considerando como valores indicativos, el valor actual neto (VAN), la tasa interna de rendimiento (TIR) y el tiempo de retorno de capital (TR). En esta sección se presentan los datos de entrada considerados para los análisis tales como el monto de la inversión, la tasa de inflación, tasa de descuento, escalamiento del precio del kWh y la tasa de interés.

El capítulo IV está dirigido a las conclusiones y recomendaciones que el autor enuncia de acuerdo al estudio realizado.

1.2 Justificación del estudio

El Mecanismo de Desarrollo Limpio le permiten a los gobiernos de los países industrializados (Anexo1 del Protocolo de Kioto) y a las empresas suscribir acuerdos para cumplir metas de reducción de gases de efecto invernadero (GEI). La finalidad es invertir en proyectos de reducción de emisiones en países en vías de desarrollo (países no Anexo 1) como una alternativa para adquirir reducciones certificadas de emisiones (RCE) a menores costos que en sus mercados. Existen mecanismos específicos para la Investigación y Desarrollo (I+D), para la Transferencia de Tecnología y Creación de Capacidades para hacer frente al Cambio Climático. Tener un proyecto prototipo con una fuente renovable, como lo es la solar fotovoltaica, permitiría al INTEC tener antecedentes tanto en la generación mediante una fuente limpia como en la inserción de créditos de carbono al Mecanismo de Desarrollo Limpio. En adición, la experiencia que se adquiriría, la institución estaría en la capacidad de colaborar con el país en el ámbito de la investigación y el desarrollo de proyectos públicos y privados.

Es de carácter mandatorio y primordial realizar un estudio donde se pueda saber cuál sería el potencial que tendría el INTEC para generar créditos de carbono a partir de la energía solar fotovoltaica. Con tal estudio se dispondría de una herramienta para determinar la dimensión del proyecto y sus posibles resultados. Dentro de los resultados también se encuentra la capacidad de generación anual del sistema fotovoltaico. Este dato es de suma importancia ya que arroja una idea de cuál sería la cobertura del consumo eléctrico, es decir, cuanto el INTEC se ahorraría por dejar de consumir energía eléctrica de la distribuidora local.

El INTEC posee áreas, tanto de los edificios como de los parqueos, que pueden ser utilizadas para la generación de energía mediante fuente renovable como lo es la solar fotovoltaica. Actualmente, dichas áreas no están siendo utilizadas u ocupadas. Por tal razón, se entiende que se debe realizar un estudio con enfoque cuantitativo, con la finalidad de analizar y determinar el potencial que tendría la institución al considerar la tecnología solar fotovoltaica.

Realizar este estudio sería abrir las puertas a nuevos conocimientos, como lo es el procedimiento de inserción de los créditos de carbono, el monitoreo del sistema, el diseño, instalación y puesta en marcha de la planta fotovoltaica, los aspectos y gestiones legales entre otros.

1.3 Objetivo General

Determinar el potencial de créditos de carbonos que se generarían en el INTEC, para ser considerados en la inserción del Mecanismo De Desarrollo Limpio, utilizando la tecnología solar fotovoltaica.

1.4 Objetivos específicos

- 1.4.1 Determinar qué potencial dispone el INTEC, en función de las áreas aprovechables, para instalar generadores fotovoltaicos.
- 1.4.2 Determinar la cantidad de toneladas de CO₂ que se capturarían para ser considerados como créditos de carbonos.
- 1.4.3 Realizar análisis de factibilidad considerando los créditos de carbonos como ingresos adicionales al flujo de caja, para determinar la viabilidad de las variantes propuestas.

CAPITULO II
REFERENTES CONCEPTUALES

CAPITULO II

II. REFERENTES CONCEPTUALES

Este capítulo hace referencia a los antecedentes y al marco teórico del contenido de esta tesis. Se enfoca hacia la actualidad y tendencias del Mecanismo de Desarrollo Limpio y las Tecnologías Fotovoltaicas.

2.1 Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kyoto

Se ha realizado un amplio estudio del estado del arte con un enfoque global y rigor científico, basado en el criterio de abarcar desde lo general hasta lo particular.

En el panorama mundial se han revisado, fundamentalmente, los documentos emanados de los eventos de mayor relevancia celebrados en Barcelona, España del 1al 3 de Junio de 2011, y Santo Domingo, República Dominicana, del 13 al 15 de Octubre de 2010; lo cual le confiere a la revisión realizada máxima actualidad.

En la Feria Mundial del Carbono (Barcelona, 1al 3 de Junio de 2011) quedó definido el panorama global presente y futuro del Mecanismo de Desarrollo Limpio del Potocolo de Kyoto de las Naciones Unidas, según el documento State And Trends of The Carbon Market 2011, elaborado por un colectivo de autores liderados por Nicholas Linacre, Alexandre Kossoy y Philippe Ambrosi del Departamento de Medio Ambiente del Banco Mundial en Washington DC, junio 2011. Las principales conclusiones plantean:

- a. Un continuo avance en el arduo proceso de creación de una red mundial para combatir el cambio climático a pesar de las complejidades.
- b. Los instrumentos basados en el mercado pueden jugar un papel relevante en el logro de metas ambiciosas de reducción de gases de efecto invernadero.

Las referidas conclusiones ratifican otras anteriormente extraídas de las Sesiones Plenarias I, II y III del Latin American and Caribbean Forum [Santo Domingo 13 al 15 de Octubre de 2010] (1), se presentan a continuación:

- a. Balance: Estado y tendencias del mercado global del carbono.

- b. 10 años de experiencias del MDL: logros, lecciones y desafíos
- c. El futuro del régimen climático y sus repercusiones en el mercado global del carbono.

En las referidas actividades plenarias, quedó demostrado que el MDL, había superado todas las crisis globales y que mantenía plena vigencia.

Queda ratificado que el MDL, como se conoce en la actualidad, mantendrá su vigencia, al menos hasta el año 2012. A partir de esa fecha sufrirá modificaciones o se adoptará un nuevo mecanismo. En ningún caso se prevé la posibilidad de desaparición de un mercado internacional de carbono.

En el ámbito nacional, es de destacar que continúa el fortalecimiento de la institucionalidad y el apoyo del Consejo Nacional para el Cambio Climático y Mecanismo de Desarrollo Limpio de la Presidencia de la República al desarrollo de proyectos en todas las áreas temáticas comprendidas en el MDL.

En el documento Posición de País sobre el Cambio Climático, el camino a Copenhagen 2009, elaborado por El Consejo Nacional para el Cambio Climático (CNCCMDL) de la R.D. queda demostrada la adhesión del país a los Ejes establecidos a saber (2):

- a. Visión común o compartida a largo plazo del Futuro del Clima
- b. Medidas Globales de Mitigación de las Causas del Cambio Climático.
- c. Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los Bosques y REDD-Plus.
- d. Adaptación a los Efectos del Cambio Climático.
- e. Transferencia de Tecnología y Creación de Capacidades para hacer frente al Cambio Climático.
- f. Necesidad de Nuevas Inversiones y Flujos de Financiamiento para hacer frente al Cambio Climático.
- g. Otros aspectos para hacer frente al Cambio Climático.

En el eje número 1 del referido documento se plantea:

Se espera que las reducciones de emisiones de GEI sean establecidas dentro de la meta mundial de reducción de emisiones y que se estabilicen en 350 ppm de CO₂ para el 2050. Con estas concentraciones se espera que la temperatura promedio anual no sobrepase los 1.5°C. Esto representaría reducir las emisiones en un 85% de los niveles existentes en

1990, y para el 2020 al menos reducir el 45% de los niveles en 1990. Se espera que el momento de máximo valor de las emisiones sea alcanzado en el 2015.

Los compromisos de mitigación por parte de los países en desarrollo pueden incluir Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMA's, por sus siglas en inglés) sobre la base de esfuerzos nacionales en el contexto del desarrollo sostenible con el apoyo tecnológico, creación de capacidades y la habilitación de fuentes de inversiones y financieras que puedan ser medibles, reportables y verificables. Los países en desarrollo que son considerados altos emisores deberán reportar en los NAMA's con mayor frecuencia, así como también deberán de realizar los inventarios de Gases de Efecto Invernadero cada 2 años.

Los costos de adaptación deberán ser cubiertos en su totalidad por los países desarrollados, así como el gasto de la preparación de los Planes de Acción Nacionales de Adaptación (NAPA's, por sus siglas en inglés) y el apoyo en la creación de las capacidades nacionales para la preparación e implementación de estos planes.

En el eje número 2 se plantea algo que se considera prioritario en la temática que se analiza:

Nos adherimos a la propuesta de que los esfuerzos de los países en desarrollo de implementar las Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMA's) sean de forma voluntaria y dentro del contexto de su desarrollo sostenible, para perseguir un desarrollo menos intensivo en carbono, contando con el apoyo financiero y tecnológico de los Países desarrollados (3).

Y, entre otros planteamientos se establece:

Las medidas de mitigación deberán estar en sinergia con las políticas de adaptación, de tal suerte que las medidas que puedan impactar negativamente un sector determinado no provoquen acciones en adaptación, por medio del aumento de la vulnerabilidad. Se entiende que, para lograr que las concentraciones de emisiones de Gases de Efecto Invernadero, no sobrepasen el umbral que provoca interferencia en los ecosistemas (menor de 1.5°C), se requieren de Acciones de Mitigación Rápida de Gases No CO₂, ya que los gases diferentes al Dióxido de Carbono (CO₂), como los HCFC y los HFC, tienen un Poder de Calentamiento Global (GWP, por sus siglas en inglés) mayor y el tiempo de residencia de estos gases en la atmósfera es mayor. Se deberá coordinar de manera estrecha con la Convención de Viena

sobre las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono y su Protocolo de Montreal para lograr esta acción.

Por su parte en el quinto eje se plantea:

Definir mecanismos específicos para la Investigación y Desarrollo (I+D) cooperativa para las tecnologías para la adaptación y la mitigación. Creación de Centros Regionales de Innovación Tecnológica para mitigación y adaptación a fin de: promover el rescate, difusión y adopción del conocimiento ancestral y local relevante para la adaptación, y el desarrollo de acuerdos cooperativos en Investigación y Desarrollo (I+D) de tecnologías, sistemas y prácticas para adaptación y mitigación.

La Evaluación de las Necesidades Tecnológicas (TNA's, por sus siglas en inglés) debe reflejar las necesidades de desarrollo, en escala adecuada, de las Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMA's) y de las Acciones Nacionales Apropriadas de Adaptación (NAPA's), así como considerar el desarrollo de Evaluación de Necesidades Tecnológicas (TNA's) en el ámbito regional a fin de vincularlas a los Centros de Innovación Tecnológica.

Nos adherimos a la propuesta de que el Marco Institucional, bajo el cual se establezca la estructura de soporte de inversiones y financiamiento, deberá ser coordinada bajo la autoridad y orientación de la Conferencia de las Partes (COP) para garantizar que los compromisos asumidos bajo la Convención sean cumplidos dentro del mismo marco institucional y que garantice la participación, de los países no-anexo 1, en la toma de decisiones / gobernanza y que además garantice la reposición de forma vinculante por parte de los países desarrollados y la agilidad en la obtención de los recursos.

En el sexto de los ejes, se encuentran aspectos de especial relevancia que se muestran a continuación:

Que el esquema creado trabaje en dos ejes: un mecanismo financiero y un mecanismo facilitador encaminados a proporcionar apoyo financiero y asesoría técnica en la preparación y ejecución de NAMA's en forma que estos sean Medibles, Reportables y Verificables. La preparación y la ejecución de Planes de Monitoreo y Evaluación (M&E) a los NAPA's, la Preparación de las Evaluaciones de Necesidades Tecnológicas (TNA's, por sus siglas en inglés), la creación de capacidades y entornos de facilitación en los Países en Desarrollo para adaptación y mitigación, manteniendo una distribución equitativa entre ambas

necesidades. El diseño de programas o proyectos de adaptación, la investigación y desarrollo (I+D) de tecnologías, despliegue y divulgación de tecnologías bajas en carbono, y adquisición o flexibilización de patentes, etc.

Las fuentes de financiamiento para el funcionamiento de este esquema podrían ser mediante el establecimiento de un Fondo Multilateral de Tecnologías (MCTF, por sus siglas en inglés) para financiar:

- a. Remoción de barreras a la Investigación y el Desarrollo (I+D);
- b. La Transferencia Tecnológica (TT);
- c. La cooperación en Investigación y el Desarrollo (I+D);
- d. Divulgación (proyectos demostrativos y exhibiciones o ferias)
- e. La compra de patentes.

Que el Fondo de Adaptación bajo el PK, debe de ser alimentado con el 2% del MDL y un porcentaje considerable de la Implementación Conjunta, el Comercio de Emisiones y el Fondo de Adaptación bajo la tutela de la Convención. El nivel de las contribuciones de los Países Desarrollados para las NAMA's de los países en desarrollo debería ser entre [0.5 - 1] % de su PIB anual entre otras fuentes. Estos fondos serán adicionales a los ya asignados por los Fondos Oficiales para el Desarrollo (ODA, por sus siglas en ingles).

Un análisis detallado de la Posición País demuestra la relevancia concedida a la temática objeto de estudio, a la vez que el grado de compromiso de la República Dominicana ante una problemática de la mayor relevancia y actualidad.

Otro documento de especial importancia que ha sido consultado es: Estudio para la Promoción de Proyectos MDL en la República Dominicana, desarrollado por el Consejo Nacional para el Cambio Climático y Mecanismo de Desarrollo Limpio (CNCCMDL), la Oficina Nacional de MDL (ONMDL) y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón [JICA] (4).

En este documento queda establecido como objetivo general el siguiente:

Ejecución de proyectos de energía renovable, eficiencia energética, captura de metano, uso de combustible más limpio, entre otros, en el marco de la Convención del Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto, con el propósito de reducir y capturar gases de efecto invernadero.

Queda demostrado que la primera prioridad del País en el tema, es la ejecución de proyectos de energías renovables.

Mientras que entre otros objetivos específicos, que harían demasiado extenso el presente análisis, se encuentran:

- a. Promover a escala nacional e internacional la aprobación y registro de iniciativas o programas que incentiven la ejecución de proyectos de fijación y reducción de emisiones ante las instancias definidas por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto.
- b. Facilitar a los desarrolladores de proyectos, que reducen o evitan emisiones de gases de efecto invernadero, los recursos necesarios para su formulación y presentación, y la obtención de recursos financieros adicionales y en condiciones atractivas cuando se requieran.
- c. Facilitar la ejecución de mecanismos que permitan remover las barreras que limitan la ejecución de proyectos de energías renovables.
- d. Asesorar a los diferentes sectores en la preparación de proyectos del MDL.
- e. Facilitar el endoso a nivel nacional de proyectos de participación en el MDL.
- f. Identificar iniciativas interesadas en proyectos de compra de certificados de reducción de emisiones, o secuestro de CO₂ por sumideros en el mercado internacional.
- g. Facilitar a los diferentes sectores la negociación de los certificados de reducción de emisiones a nivel internacional.
- h. Promover la creación de la capacidad técnica nacional para la elaboración de proyectos de mitigación de gases de efecto invernadero que estén acorde con la política ambiental del Estado Dominicano.
- i. Proponer y negociar convenios, acuerdos, cartas de entendimiento o cualquier otro mecanismo o instrumento que facilite la aprobación de proyectos dentro del Mecanismo de Desarrollo Limpio, en coordinación con organismos nacionales e internacionales.
- j. Dirigir los procesos de certificación de los proyectos del MDL presentados por el sector Oficial, sector privado y las ONG's, conforme a los criterios de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Dirección Ejecutiva del MDL de la Convención Marco sobre Cambio Climático.

Dentro de los sectores y áreas claves para el desarrollo de Proyectos MDL en la R.D. se definen en el documento antes señalado, las siguientes:

- a. Energía Renovable Energía eólica
- b. Biomasa Hidroeléctrica (mini y micro)
- c. Solar

Queda nuevamente ratificada la relevancia concedida a la implementación de proyectos MDL a partir de la utilización de fuentes como lo es la energía solar fotovoltaica con independencia del sector de la sociedad que los proponga. Igualmente queda establecido el compromiso del país para facilitar los procesos de implementación de cualquier proyecto que cumpla con las exigencias y requerimientos internacionales.

Finalmente es de destacar que en la reciente reunión del Comité de Países Anfitriones para las Finanzas de Carbono del Banco Mundial, realizada el 30 y 31 de mayo 2011 pasado en la ciudad de Barcelona, España, la República Dominicana fue electa por unanimidad, como coordinador de la región de América Latina y el Caribe, lo cual es un reconocimiento a la labor desarrollada y un estímulo para continuar avanzando hacia metas superiores.

Cuando ya se está convocando el nuevo Forum Latinoamericano y Caribeño del Carbono a celebrarse en San José, Costa Rica del 27 al 29 de Septiembre del actual año, tanto la República Dominicana, en general, como el INTEC y la CIICT en lo particular, continúan desarrollando esfuerzos por hacer una contribución a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, con su consecuente implicación en el cambio climático global.

2.2 Tecnologías Fotovoltaicas

En esta sección no se profundiza en la teoría de las tecnologías, más bien se enfoca en el tema de la eficiencia y su evolución. Ambas tendencias son imprescindibles para el análisis ya que se pretende utilizar áreas en un recinto docente con extensiones limitadas. Al decir limitadas, el autor se refiere a la disponibilidad de terrenos o techos que estén disponibles, libres de obstáculos, ya que regularmente se encuentran equipos que ocupan un área determinada.

Se pretende realizar para cada tecnología una reseña histórica, investigar y presentar datos de eficiencia de acuerdo a instituciones y laboratorios así como fabricantes, tendencias y la conclusión según criterio del autor.

Es conveniente clasificar los distintos tipos de tecnologías de interés que hasta la actualidad siguen en desarrollo, tanto en fase experimental o de laboratorio como a nivel comercial. Para ello, el presente estudio hace referencia a las tecnologías de Silicio Monocristalino, Silicio Policristalino, Película Fina y la Tecnología Fotovoltaica por Concentración.

2.2.1 Tecnología Solar Fotovoltaica de Silicio Cristalino

2.2.1.1 Silicio Monocristalino

Los paneles monocristalinos se fabrican en procesos donde se hacen rebanadas finas cortadas de un solo cristal de silicio. Han sido utilizadas ampliamente en el mercado fotovoltaico.



Figura 1: Celda Si C

La eficiencia de conversión alcanzada más reciente en laboratorio se muestra en la tabla más abajo:

Tabla 1: Eficiencia Célula Si C
Solar cell efficiency tables (versión 38)

No.	Fabricante	Material	Eficiencia	Referencia
1	UNSW PERL	Si C	25,0%	(5)

Tabla 2: Eficiencia Módulo Si C
Solar cell efficiency tables (versión 38)

No.	Fabricante	Material	Eficiencia	Referencia
1	UNSW /Ghothermann	Si C	22,9%	(5)

En la actualidad varios fabricantes han emitido anuncios y boletines referentes a nuevas eficiencias alcanzadas. Algunas de estas son presentadas en laboratorios y otras como manufactura.

Según IMEC y un conjunto de colaboradores y socios tales como Schott Solar, Total Photovoltec, GDF-SUEZ, Solland Solar, Kaneka y Dow Corning han demostrado obtener una eficiencia en la conversión de potencia en unos 23,3%. Este tipo de celda solar es de silicio interdigitada (IBC) en el contacto posterior (6).

Según Solar 3D Inc., desarrolla una tecnología con células solares de silicio tridimensional. Esta consigue 25,47% de eficiencia en la conversión de energía (7).

Todas estas tecnologías todavía están en laboratorios, NO son comerciales aún, pero se piensa en un futuro tener producciones a escalas factibles.

Más abajo se presenta una tabla con las eficiencias comerciales alcanzadas en los paneles de silicio Monocristalinos actualmente.

Tabla 3: Los diez Fabricantes topes del mercado actual en tecnología Si C
[http://www.solarplaza.com/top10-crystalline-module-efficiency/\(8julio2011\)](http://www.solarplaza.com/top10-crystalline-module-efficiency/(8julio2011))

No.	Fabricante	Modelo	Material	Eficiencia Modulo	Eficiencia Celda
1	Sunpower	E20 / 333 SOLAR PANEL	Si-Mono	20,40%	22,80%
2	AUO	PM318B00	Si-Mono	19,50%	n.a.
3	Sanyo Electric	HIT-N240SE10	Si-Mono	19,00%	21,60%
4	Jiawei	JW-S100	Si-Mono	18,30%	21,01%
5	Crown Renewable Energy	Summit 100LM	Si-Mono	18,30%	n.a.
6	JA Solar	JAM5(L)-72-215/SI	Si-Mono	16,84%	19,10%
7	Trina Solar	TSM-210DC80	Si-Mono	16,40%	18,10%
8	CNPV Solar	CNPV-105M	Si-Mono	16,20%	18,80%
9	Yingli Solar	Panda 265 Series	Si-Mono	16,20%	18,50%
10	Jetion	JT315SAc	Si-Mono	16,20%	18,30%

2.2.1.2 Silicio Policristalino

Se obtienen de manera similar al silicio monocristalino, salvo porque se parte de planchas policristalinas, que son más baratas. El rendimiento de estas células alcanzan el 20% de eficiencia. Aunque su rendimiento es algo inferior a las monocristalinas, su menor costo ha contribuido enormemente aumentar su uso. La garantía del producto puede ser hasta de 20 años, dependiendo del fabricante.



Figura 2: Celda Silicio Policristalino

La eficiencia de conversión alcanzada más reciente en laboratorio se muestra en la tabla más abajo:

Tabla 4: Eficiencia Célula Si P
Solar cell efficiency tables (versión 38)

No.	Fabricante	Material	Eficiencia	Referencia
1	Fh G-ISE	Multicristalino	20,4%	(5)

Tabla 5: Eficiencia Módulo Si P
Solar cell efficiency tables (version 38)

No.	Fabricante	Material	Eficiencia	Referencia
1	Q Cell	Multicristalino	17,8%	(5)

La siguiente tabla muestra cinco fabricantes de paneles y sus eficiencias comerciales alcanzadas en los paneles de silicio policristalinos actualmente:

Tabla 6: Fabricantes con Tecnología Si:P

No.	Fabricante	Material	Eficiencia	Referencia
1	Yingli Solar	Policristalino	14,7%	(8)
2	Bp Solar	Policristalino	13,5%	(9)
3	Risen Energy	Policristalino	14,2%	(10)
4	Kyocera	Multicristalino	14,4%	(11)
5	Canadian Solar	Policristalino	15,54	(12)

2.2.2 Tecnología Solar Fotovoltaica de Película Fina

Se define como tecnología fotovoltaica de lamina delgada “todas aquellas células y módulos en los que la capa activa o absorbente tiene un espesor de unos pocos micrómetros” según <<Ciemat, 2007>>

Estas células son de gran importancia ya que en los últimos años han conseguido mejorar sus eficiencias considerablemente. Se sabe que las mismas no reemplazan actualmente las

células de silicio, sin embargo, sus bajos costes de producción las colocan en posición de competir con las demás debido a sus excelentes propiedades fotovoltaicas y estabilidad en condiciones de operación.

Por mucho tiempo la célula basada en el sulfuro de cobre y sulfuro de cadmio ($\text{Cu}_2\text{S-CdS}$) fue el dispositivo de película fina con mayor uso. Sin embargo, tanto el silicio amorfo como las células basadas en seleniuro de cobre e indio (CuInSe_2 ó CIS) y telururo de cadmio (CdTe) consiguieron rendimiento de alto nivel.

Según criterio del autor las células de interés en la tecnología de película fina se clasificaran en dos grupos: Silicio Amorfo y Células Policristalinas

2.2.2.1 Silicio Amorfo

Las células de silicio amorfo hidrogenado (a-Si:H) es el tipo de lámina delgada que más se utilizó en los principios de los 80s y finales de los 90s. Se utilizaron en dispositivos electrónicos de baja potencia como calculadoras, relojes, lámparas entre otros.

El método de preparación del material que se ha utilizado industrialmente hasta 2007 es la deposición química en fase de vapor activada por plasma (en inglés PECVD)

En 1976 se fabricó la primera celda de silicio amorfo y tuvo una eficiencia del 2.4% (13). Para el 1997 el Sr. Yang y otros (14) obtienen una célula de unión triple con una eficiencia del 14.6%. A continuación se muestra una tabla con su sobre la evolución de la eficiencia del a:Si hasta el 1997 en laboratorios.

Tabla 7: Avances en las células solares a-Si:H

AÑO	AVANCES	Referencia
1976	Primera célula solar p-i-n	(1)
1977	Célula MIS de 5.5%	(15)
1980	Célula de a-Si:H fluorado de 6.3%	(16)
1981	Capa p de silicio amorfo - carbono	(17)
1982	Célula solar p -i-n de 10.1%	(18)
1985	Célula solar p -i-n de 11.5%	(19)
1986	Célula solar en supercámara 11.7%	(20)
1987	Célula p -i-n con interfase gradual 11.95%	(21)
1987	Célula con capa "p" microcristalina 12%	(22)
1992	Célula p i-n con capa amortiguadora 13%	(23)
1997	Célula multifunción triple 14.6%	(2)

El problema mayor de esta tecnología es la baja eficiencia, no obstante, el sacrificio de la eficiencia tiene como consecuencia el bajo coste en la fabricación de estos módulos fotovoltaicos.

Otra desventaja de esta tecnología es la degradación de la eficiencia inducida por la luz. En el gráfico Estabilidad de Potencia en Celdas de Película Fina (24), se muestra una comparación de la estabilidad del silicio amorfo frente a otras tecnologías como el CIS y el CdTe.

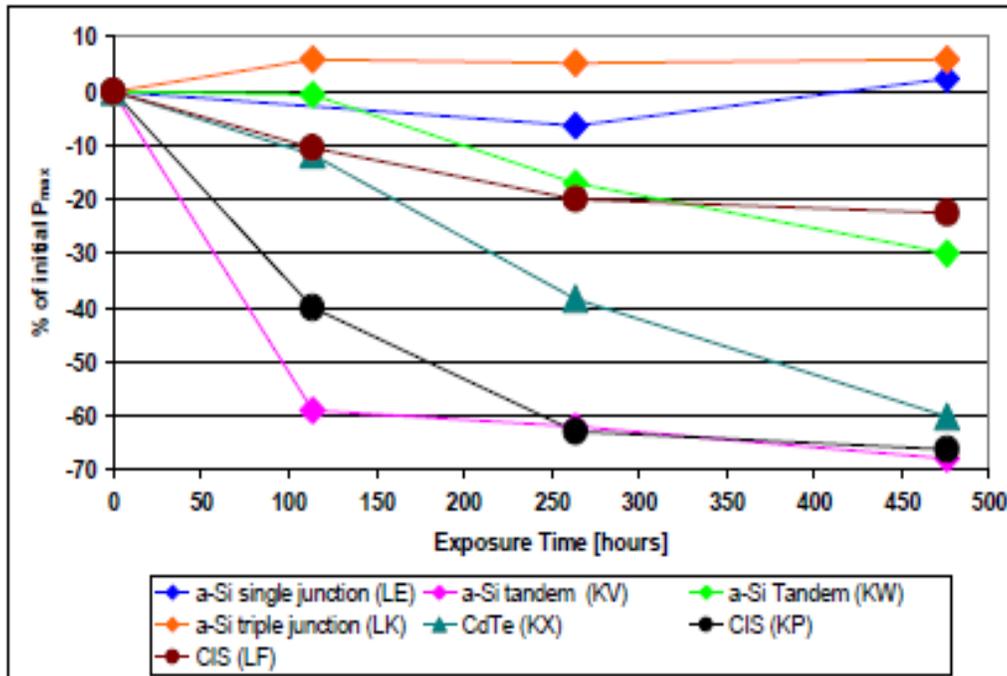


Figura 3: Estabilidad de Potencia en Celdas de Película Fina
 (T. Sample, A. Skoczek, M. Field, M. Koehl, D. Geyer, W. Herrmann.,2009)

De acuerdo a este gráfico la celda de mejor estabilidad es la a:Si triple unión. Este tipo de celda lleva un proceso de fabricación con técnicas de vacío.



Figura 4: Panel Flexible a:Si

La tecnología a:Si ha crecido tímidamente, en cuanto se refiere a la eficiencia comercial, en los últimos años. La eficiencia de conversión alcanzada más reciente en laboratorio, según el informe PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS, Solar cell efficiency tables (versión 38) del año 2011, se muestra en la tabla más abajo:

Tabla 8: Eficiencia Célula a Si
Solar cell efficiency tables (version 38)

No.	Fabricante	Material	Eficiencia	Referencia
1	Kaneka	a:Si nanocristalino	10,1%	(5)

Como se puede apreciar el dato evaluado es de un panel comercial.

La siguiente tabla muestra cinco fabricantes de paneles y sus eficiencias comerciales alcanzadas en los paneles de silicio amorfo actualmente:

Tabla 9: Fabricantes con Tecnología a-Si

No.	Fabricante	Material	Eficiencia	Referencia
1	China Solar	a:Si	5,1%	(25)
2	Xunlight	a:Si	6,0%	(26)
3	Amelio	a:Si	5,0%	(27)
4	Kaneka	a:Si	6,3%	(28)
5	Sencera	a:Si	6,9%	(29)

Es evidente que las eficiencias comerciales actuales de esta tecnología no han alcanzado niveles superiores al 7%.

La tendencia de esta tecnología en los próximos 8 años es que su eficiencia siga aumentando de una forma tímida. La siguiente tabla muestra la proyección al 2020.

Tabla 10: Proyección Eficiencia a-Si-Ge
(Fthenakis, Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2009)

Year	Efficiency%			
	2008	2020		
PV Type		Conservaty	Most likely	Optimistic
a-Si-Ge	6.7	9	9.7	10

2.2.2.2 Célula Policristalina

La evolución de las células solares policristalinas de lámina delgada es considerable ya que se han producido avances reales en el mercado actual. El objetivo principal siempre ha sido conseguir bajos costes en la fabricación de los módulos fotovoltaicos.

Entre los materiales policristalinos a considerar se encuentran el Seleniuro de cobre e indio (CuInSe₂ ó CIS) y el telurio de cadmio (CdTe). Estos dispositivos policristalinos en película fina son serios competidores debido a sus excelentes propiedades fotovoltaicas y estabilidad en condiciones de operación.

2.2.2.2.1 CIS

La célula policristalina CIS alcanzó una eficiencia del 6% en 1977 según el trabajo realizado por L.L. Kazmerski (30). La compañía Boeing estableció un sistema adecuado de control para la evaporación multifuente, que hizo pronto de la célula CIS la cabeza de carrera en las eficiencias de células solares en lámina delgada. Eficiencias en área de apertura superiores al 12% hacen estos módulos atractivos para aplicaciones de potencia (31). La eficiencia de los dispositivos de escala de laboratorio fabricados con un proceso de coevaporación en tres etapas alcanzaron eficiencias de 18,8% (32).



Figura 5: Celda CIS

La siguiente tabla muestra los datos de eficiencia de celdas CIS que han sido industrializadas por fabricantes al 2007:

Tabla 11: Fabricantes con Tecnología CIS

No.	Fabricante	Material	Eficiencia	Referencia
1	Shell Solar	CIS	9,9%	(33)
2	Wurth Solar	CIS	11,0%	(33)
3	Showa Shell	CIS	13,1%	(33)
4	Global solar	CIS	13,4%	(33)
5	Energy PV	CIS	7,5%	(33)

Los compuestos calcopirita basados en CuInSe_2 , generalmente aleado con Ga (Galenio) ó S (azufre) y denominado CIGS, han permitido obtener en los últimos años valores máximos de eficiencia para dispositivos fotovoltaicos de lamina delgada.

Dado que la utilización de Ga o S ha mejorado la eficiencia en la actualidad, la mayoría de los fabricantes se han inclinado por esta tecnología.

La eficiencia de conversión alcanzada más reciente en laboratorio se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 12: Eficiencia Célula CIGS
Solar cell efficiency tables (version 38)

No.	Fabricante	Material	Eficiencia	Referencia
1	NREL on Glass	CIGS	19,6%	(5)

Tabla 13: Eficiencia Módulo CIGS
Solar cell efficiency tables (version 38)

No.	Fabricante	Material	Eficiencia	Referencia
1	Miasole	CIGS	15,7%	(5)



Figura 6 Panel CIGS (fuente Miasole)

En la actualidad varios fabricantes ha emitido anuncios y boletines referentes a nuevas eficiencias alcanzadas. Algunas de estas son presentadas en laboratorios y otras como manufactura.

La empresa SOLIBRO de origen alemán (Bitterfeld-Wolfen) ha conseguido un panel CIGS cuya eficiencia alcanza los 17,4% (área de apertura) El nuevo record ha sido confirmado por el Instituto independiente Fraunhofer ISE, ubicado en Friburgo, Alemania. El módulo de prueba, con un tamaño de 16 cm², fue fabricado utilizando procesos totalmente escalables para la producción en masa rentable. La empresa SOLIBRO también tiene un módulo de película fina con uno de los records más alto, con una eficiencia en los CIGS de 17,4%, cuyo

valor está actualmente en los records mundiales de la producción en serie de módulos producidos con tecnología CIGS integrados monolíticamente (34).

La siguiente tabla muestra los fabricantes de paneles con mayores eficiencias en el mercado actual (<http://www.solarplaza.com/top10-cigs-module-efficiency>).

Tabla 14: Los diez Fabricantes topes del mercado actual en tecnología CIS/CIGS

No.	Fabricante	Modelo	Material	Eficiencia
1	Miasole	MS140GG	CuInGaSe	13,10%
2	Q-Cells	Q smart UF95	CuInGaSe	12,70%
3	Solar Frontier	SF155-L	CuInSe	12,60%
4	Avancis	PowerMax	CuInSe	12,60%
5	Global Solar Energy	PowrFlex BIPV 300W	CuInGaSe	12,60%
6	Yohkon Energia	YEC 200-160	CuInGaSe	12,30%
7	Nanosolar	Nanosolar Utility Panel	CuInGaSe	12,00%
8	Honda Soltec	HEM130PCB	CuInGaSe	11,60%
9	New Energy Solution	NESI-CIGS	CuInGaSe	11,40%
10	Heliovolt	HVC-190X	CuInGaSe	11,30%

La tendencia de esta tecnología en los próximos 8 años es que su eficiencia siga aumentando a nivel comercial. La siguiente tabla muestra la proyección al 2020.

Tabla 15: Proyección Eficiencia CIGS
(Fthenakis, Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2009)

Year	Efficiency%			
	2008	2020		
PV Type		Conservaty	Most likely	Optimistic
CIGS	11,2%	14,0%	15,9%	16,3%

2.2.2.2.2 CdTe

Esta tecnología ha estado en uso de los años 70s. Desde entonces se han probado más de diez tipos de diferentes estructuras de células solares utilizando CdTe como absorbente. Al igual que la tecnología CIS, el telururo de cadmio posee varias características que lo hacen un material apto para la generación de electricidad a partir del efecto fotovoltaico. Además, de las ventajas de utilizar menor cantidad de material por unidad de área, dispositivos ligeros y su disposición de integración ligera entre otras, hace que la tecnología se destaque y sea considerada en la fabricación masiva de paneles fotovoltaicos comercialmente.

Las eficiencias alcanzadas para esta tecnología están en el rango de 10% al 16%. El record mundial de eficiencia para las células basadas en CdTe es de 16,5% (35)



Figure 1: Panel CdTe (fuente FirstSolar)

La eficiencia de conversión alcanzada más reciente en laboratorio se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 16: Eficiencia Célula CdTe
Solar cell efficiency tables (versión 38)

No.	Fabricante	Material	Eficiencia	Referencia
1	NREL mesa on Glass	CdTe	16,7%	(5)

Tabla 17: Eficiencia Módulo CdTe
Solar cell efficiency tables (versión 38)

No.	Fabricante	Material	Eficiencia	Referencia
1	PrimeStar monolithic	CdTe	12.8%	(5)

La siguiente tabla muestra los datos de eficiencia de celdas CdTe que han sido industrializadas por fabricantes al 2007:

Tabla 18: Fabricantes con Tecnología CdTe

No.	Fabricante	Material	Eficiencia	Referencia
1	BP Solarex	CdTe	11,0%	(36)
2	First Solar	CdTe	9,0%	(36)
3	Antec Solar	CdTe	6,9%	(36)
4	Mastsushita B	CdTe	11,0%	(36)
5	Golden Photon	CdTe	9,2%	(36)

La tendencia de esta tecnología en los próximos 8 años es que su eficiencia siga aumentando. La siguiente tabla muestra la proyección comercial al 2020.

Tabla 19: Proyección Eficiencia CdTe
(Fthenakis, Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2009)

Year	Efficiency%			
	2008	2020		
PV Type		Conservaty	Most likely	Optimistic
CdTe	10,8%	12,3%	13,2%	14%

2.2.3 Tecnología Solar Fotovoltaica por Concentración

La tecnología solar fotovoltaica por concentración utiliza un elemento óptico para concentrar la luz del sol entre 250-1000 veces, utilizando sólo 1 cm² de celdas por unidad, llegando a 1/1000 de la cantidad de material de celdas solares utilizadas en sistemas fotovoltaicos tradicionales. Esta tecnología está en etapa de investigación y desarrollo desde los años 70s, a pesar de que desde hace algunos años es posible encontrarla en etapa comercial.



Figura 7: Celda Fotovoltaica por Concentración

Entre los avances realizados por fabricantes y laboratorios se encuentran las siguientes eficiencias alcanzadas al año 1995:

Tabla 20: Celda Fotovoltaica por Concentración

No.	Fabricante	Material	Eficiencia	Referencia
1	Sunpower	Silicio	26,8%@240soles	(37)
2	Laboratorio	GaAs	23%@1300 soles	(38)
3	Na	GaAs/GaSb	32,6%@100 soles	(39)

Por lo que se puede apreciar, las eficiencias de las celdas alcanzaron valores aceptables, sin embargo, la tecnología comercial no. Al 2007, según Ciemat, todavía no existían células comerciales de silicio de coste moderado para trabajar a concentraciones de 50 a 250 soles. También ocurría así con los materiales III-V, que siendo más costosos, posiblemente requieran concentraciones de 500x a 1000x para ser competitivo con el silicio

Sin embargo, según PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS, Solar cell efficiency tables (versión 38) del año 2011 la eficiencia de conversión ha alcanzado niveles más altos (ver tabla 21)

Tabla 21: Eficiencia Célula
Solar cell efficiency tables (versión 38)

No.	Fabricante	Material	Eficiencia	Referencia
1	Fraunhofer	GaAs	29,1%	(5)
2	Amonix back Contact	Si	27,6%	(5)
3	Solar Junction (triple Cell)	GaInP/GaAs/ GaInNas	43,5%	(5)

Tabla 22: Eficiencia Módulo
Solar cell efficiency tables (versión 38)

No.	Fabricante	Material	Eficiencia	Referencia
1	Sandia/unsw/entech	Si	20,5%	(5)

Tabla 23: Eficiencia Sub-módulo
Solar cell efficiency tables (versión 38)

No.	Fabricante	Material	Eficiencia	Referencia
1	Du Pont et. Al. Split Spectrum	GaInP/GaAs; GaInAsP/gaAs/Ge	38,5%%	(5)
2	ENTECH	GaInP/GaAs/Ge	27,5%	(5)

En la actualidad, según fuentes consultadas, se utiliza el germanio para los paneles de alta concentración. Un panel fotovoltaico de alta concentración típicamente es crecido en un diseño multiunión sobre un sustrato de de germanio (Ge) de 4". Sin embargo, debido a las limitaciones que presenta la oblea de Ge con celdas multiunión, la tendencia es reemplazar el Ge por GaAs. Altas eficiencias son conseguidas, alrededor del 40%, en estos sustratos. Si son producidas a costos competitivos, los paneles de alta concentración (HCPV siglas ingles) en celdas de GaAs podrían compartir el mercado actual con los sustratos de

germanio. Unos de los más establecidos en el mercado HCPV con proyectos con seguimiento e importantes instalaciones con tuberías, son: Amonix, Soitec y SolFocus. (40)

En noviembre 13 de 2008 SolFocus anunció su último Concentrador Fotovoltaico “El SolFocus 1100S”. Este equipo alcanzó eficiencias del panel en un 25% obteniendo como resultado gran densidad en la producción de energía. Las celdas consiguen eficiencias alrededor del 40%. Son construidas con materiales III-V. Este logro incluye otras características en la construcción de los paneles tales como óptica avanzada, bajos costo y bajo mantenimiento. El SolFocus 1100S utiliza un seguidor eficaz fabricado a la medida para estos paneles cumpliendo con los más altos estándares de calidad y eficiencia. (41)

La siguiente tabla muestra algunos de los fabricantes de paneles con concentración fotovoltaica con mayores eficiencias en el mercado actual.

Tabla 24: Fabricantes paneles con concentración fotovoltaica

No.	Fabricante	Modelo	Material	Eficiencia Panel	Eficiencia Celda
1	Amonix	Amonix 7700	Celda Solar Multiunión III-V	n.a.	41%
2	Soitec	Concentrix	GaInP/GaInAs/Ge Triple Unión	30%	41%
3	Solfocus	El SolFocus 1100S	Celda Solar Multiunión III-V	25%	40%
4	Arima	Arima Eco's	GaInP/GaInAs/Ge Triple Unión	22,7%	36-40%.
5	Azur Space	3C40C	GaInP/GaInAs/Ge Triple Unión	n.a.	40%
6	Solar Junction	SJMJ-3	Celda Solar Multiunión III-V	n.a.	41,4%
7	Morgan Solar	Sun Simba (h)	Celda Solar Multiunión III-V	26-30%	n.a.
8	Opel Solar	Mk-Id (h)	Celda Solar Multiunión III-V	n.a.	36,7%

No.	Fabricante	Modelo	Material	Eficiencia Panel	Eficiencia Celda
9	Solergy	Solergy CPV	Celda Solar Multiunión III-V	n.a.	40%
10	Spirox	Spirox (h)	GaAs	n.a.	n.a.

La tabla 25 muestra el resumen de las tecnologías propuestas. Aquí se presentan las eficiencias conseguidas en laboratorios y por los fabricantes. Se confirma que las eficiencias de laboratorios presentadas en este documento fueron consultadas del informe PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS, Solar Cell Efficiency Tables (versión 38) del año 2011.

Tabla 25: Eficiencias Tecnologías

No.	Tecnología	Laboratorio	Comercial
1	Silicio Monocristalino	22,9%	20,4%
2	Silicio Policristalino	17,8%	15,5%
3	Silicio Amorfo	10,1%	6,9%
4	CIGS	15,7%	13,1%
5	CdTe	12,8%	11,0%
6	Concentración ¹	38,5%	30,0%

La siguiente figura muestra gráficamente las diferencias porcentuales de cada tecnología.

¹ GaInP/GaInAs/Ge

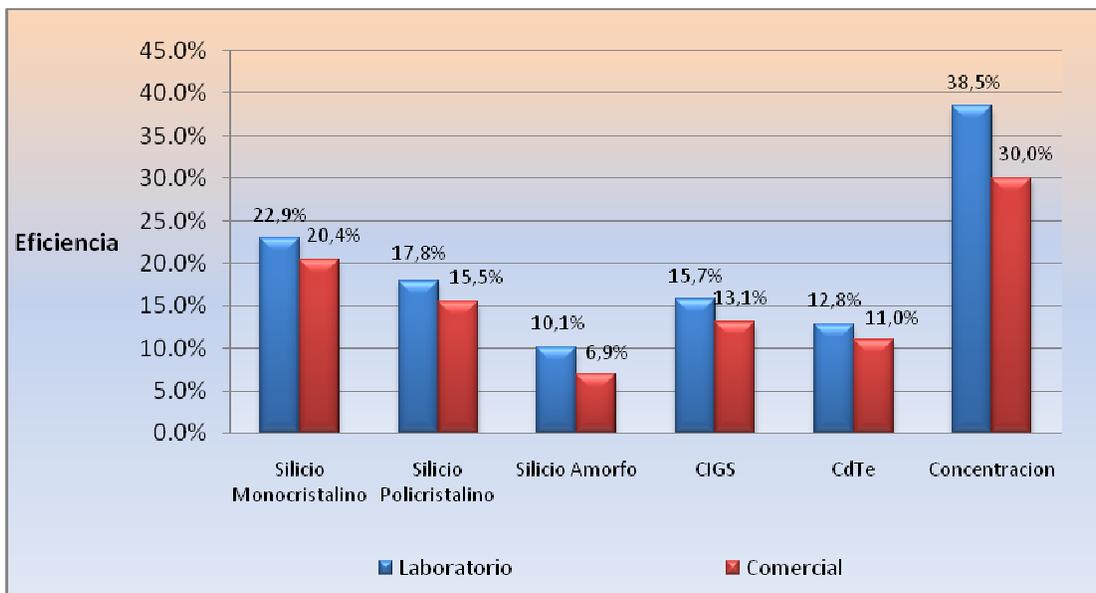


Figura 8: Eficiencias Tecnologías

Dado que este estudio presenta un análisis económico, es pertinente investigar sobre los precios de cada tecnología como costo capital del kW. Esto se refiere a los costos de inversión del sistema fotovoltaico, incluyendo estructuras de montaje, inversores, cables, entre otros materiales. La mano de obra e ingeniería y demás gastos no se incluyen en estos precios.

Tabla 26: Costos del kW por Tecnología en US\$
[IEA 2010, Tech. Roadmap].

No.	Tecnología	Precio US\$/kW	
		Valor Mínimo	Valor Máximo
1	Silicio Monocristalino	\$3 750,00	\$6 250,00
2	Silicio Policristalino	\$3 750,00	\$6 250,00
3	Silicio Amorfo	\$1 500,00	\$2 250,00
4	CIGS	\$1 500,00	\$2 250,00
5	CdTe	\$1 500,00	\$2 250,00
6	Concentración	\$4 000,00	\$4 000,00

Esto precios son referenciales. Más adelante se presentan los mismos con ciertas actualizaciones.

De acuerdo al criterio del autor se resume más abajo en una tabla los modelos de paneles que se sugieren de acuerdo a cada tecnología para el estudio y diseño del sistema a proponer. Sin embargo, esto no enmarca un criterio rígido, en cuanto al modelo se refiere, sino, que se pueden elegir otros modelos tomando como base los presentados en este cuadro.

Tabla 27: Resumen de Paneles FV por Tecnología

No.	Fabricante	Modelo	Tipo	Material	Eficiencia	Imagen
1	Sunpower	E20 / 333 SOLAR PANEL	Rigido	Silicio Mono C	20,40%	
2	Arima	Arima Eco's	Rigido	GaInP/GaInAs /Ge Triple Union	22,7%	
3	Miasole	MS140 GG	Rígido	CuInGaSe	13,10%	
4	Global Solar Energy	PowrFle x BIPV 300W	Flexible	CuInGaSe	12,60%	

Por tradición las células de silicio monocristalino han ocupado gran territorio en el mercado fotovoltaico. Hoy en día siguen con excelentes eficiencias. Es por tal razón que se recomiendan para los análisis a realizar.

Es conveniente tener en consideración que la tecnología de concentración es interesante siempre y cuando se tengan niveles de radiación directa por encima de los $600\text{W}/\text{m}^2$, esto según los criterios de los fabricantes consultados. Además, se necesitan seguidores solares para su mayor rendimiento. En cuanto a las demás tecnologías se pueden usar o no los seguidores, lo cual hace más económico en el sistema.

Es bueno aclarar que existen tecnologías de concentración híbridas tanto para producir energía eléctrica como para producir calor las cuales hacen muy factible los sistemas que necesitan ambas formas de energías, no obstante, este estudio se limita a energía eléctrica.

En cuanto a los paneles de película fina “Thin Film” su evolución con los materiales III-V ha sido buena, además, el principal objetivo ha sido buscar bajar los costos. La flexibilidad que muestra esta tecnología nos permite adaptarnos a superficies con curvaturas e irregularidades superficiales. Por ejemplo, el caso de los paneles flexible no necesita estructuras.

CAPITULO III
METODOLOGIA DE CÁLCULO

CAPITULO III

III. METODOLOGIA DE CÁLCULO

Este capítulo describe de una forma muy general cada etapa del trabajo realizado, con el objetivo de suministrar suficiente información para otros investigadores. Los aspectos a considerar son el Enfoque Metodológico, Técnicas Metodológicas e Instrumentos de Medición, Datos de Partida y el Procedimiento.

3.1 Enfoque Metodológico

El presente estudio se basa en la recolección y el análisis de datos para contestar y probar la hipótesis establecida previamente. Se confía en la medición numérica y el uso de datos estadísticos para llegar a los resultados deseados. El enfoque metodológico utilizado es el cuantitativo.

3.2 Técnicas Metodológicas

Los datos que se utilizan para los procedimientos y análisis de resultados son recolectados de estudios y mediciones realizadas y documentadas así como de datos estadísticos de instituciones reconocidas en el ámbito científico. Informaciones de carácter general como planos de vista general, dimensiones y distribuciones de las áreas, se utilizan también.

La razón principal de utilizar estos datos como herramientas, radica en su credibilidad y certeza con lo que están realizados. Sería redundar e invertir un tiempo precioso en medir y corroborar tales informaciones. Según criterio del autor, los datos recolectados que se consideran este estudio, son aceptables y confiables para realizar los análisis y cálculos del estudio.

3.3 Datos de Partida

Para este estudio se utilizarán varios datos específicos para realizar los procedimientos de cálculos y análisis, a saber;

- Datos estadísticos de Irradiación ($\text{kWh/m}^2/\text{día}$) del sitio

- Históricos de consumos eléctricos del INTEC
- Medición de áreas (m²) de las instalaciones

3.4 Datos estadísticos de Irradiación

Los datos de Irradiación describirán la cantidad de energía que llega al plano horizontal en kWh/m²/día. Estos datos serán conseguidos del portal de la nasa en función de la latitud y longitud del sitio. (<http://eosweb.larc.nasa.gov>) Esta data se basa en un histórico de 20 años.

3.5 Históricos de consumos eléctricos del INTEC

Los datos de consumos serán conseguidos de una recolección de mediciones realizadas en los contadores de medición del INTEC. Tales datos fueron recopilados utilizando un analizador de redes FLUKE. Además, se cuenta con las facturas de consumo por parte de la distribuidora comercial (EDESUR) con la que se podrán realizar comparaciones de dicho histórico.

3.6 Medición de áreas (m²) de las instalaciones

Se utilizarán planos existentes y las facilidades del software google earth para medir y ubicar geográficamente las instalaciones. No obstante, se realizarán mediciones en campo, si se requiere, para corroborar tales medidas.

3.7 Procedimiento

Para determinar los créditos de carbono a insertar el mecanismo de desarrollo limpio, se deben determinar las toneladas de CO₂ que se pueden capturar con la tecnología fotovoltaica. Para ello se calcula la cantidad de MWh que se podrían generar de acuerdo a la capacidad del generador fotovoltaico propuesto.

El orden de los datos y cálculos así como la estrategia se presentan a continuación:

1. Evaluación de Áreas
2. Análisis de Capacidad kW

3. Generación Eléctrica kWh/m²/día
4. Cálculo créditos de carbono
5. Análisis de Factibilidad

El estudio se basa en determinar las áreas disponibles donde se podrían instalar los generadores fotovoltaicos y evaluar las opciones o combinaciones de las mismas. Para cada opción se calcula la capacidad del generador fotovoltaico en función de las tecnologías fotovoltaicas propuestas. En el cálculo se utilizan los datos de eficiencia de los módulos y su factor de instalación.

Con las opciones definidas se calcula la generación anual de cada generador fotovoltaico. Se utilizan programas de simulación para realizar tal tarea. Los programas de simulación Homer y el RETScreen son los utilizados. El programa RETScreen es también utilizado para el cálculo de las toneladas de CO₂ por año.

Estos programas utilizan los datos de partida para realizar las simulaciones. Los datos estadísticos que utilizan los programas son los datos de consumo eléctrico del INTEC y los datos de radiación promedio para el sitio.

Finalmente se realiza un análisis de factibilidad de cada opción. La factibilidad de las opciones se presenta en este estudio considerando como valores indicativos el valor actual neto (VAN), la tasa interna de rendimiento (TIR) y el tiempo de retorno de capital (TR). Para el cálculo se utiliza el programa de simulación RETScreen y hojas de cálculo en Excel diseñadas por el autor.

CAPITULO IV
RESULTADOS

CAPITULO IV

IV. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los datos de partida, los análisis, cálculos y resultados del estudio. Aquí se describen las herramientas y métodos utilizados así como los resultados de la Evaluación de Áreas, Análisis de Capacidad kW, Generación Eléctrica, Cálculo créditos de carbono y Análisis de Factibilidad.

4.1 Datos de Partida

Los datos de entrada consisten en las informaciones necesarias para realizar los cálculos y análisis del documento. Para el caso se necesitan las siguientes informaciones: Data Radiación Solar, Consumo eléctrico kWh y Datos de áreas de las Instalaciones

4.1.1 Data Radiación Solar

Para realizar los datos de producción de la planta fotovoltaica se necesita datos de irradiación en el sitio de estudio. La data a conseguir es para la latitud $18^{\circ}29'14.94''$ (18.48°) N, longitud $69^{\circ}57'56.79''$ (69.97°) O.

Los datos a considerar para este estudio serán obtenidos mediante la base de datos de la NASA. Se obtendrán los necesarios para correr los programas de simulación. La radiación solar promedio está disponible en los mapas solares que por lo general indican las tendencias de los valores. Por ejemplo, el mapa solar de la Republica Dominicana es buena referencia ya que los valores no cambian considerablemente, excepto, en las zonas montañosas.

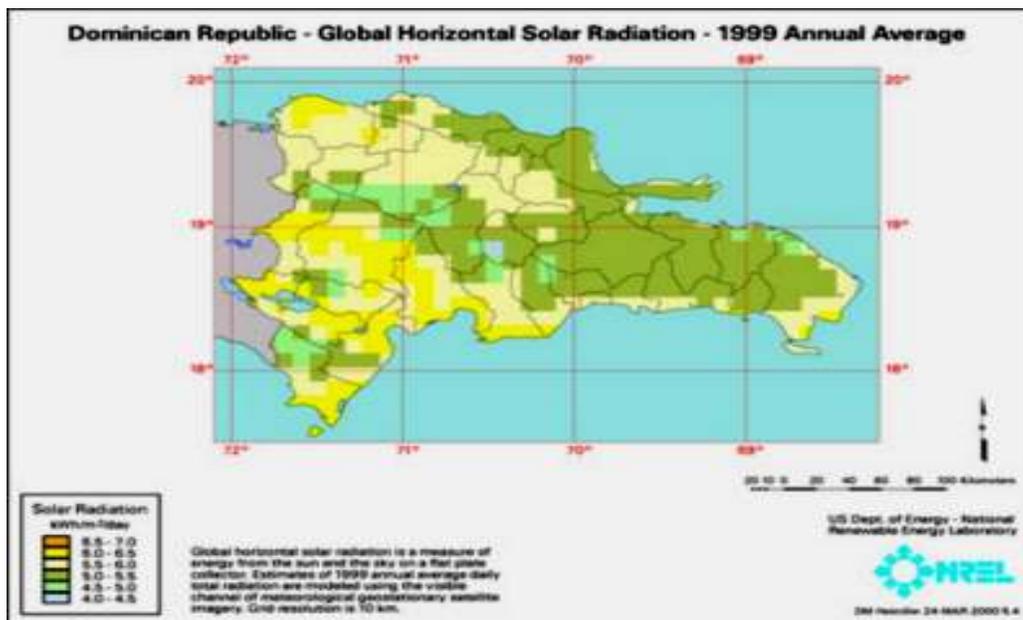


Figura 9: Mapa Solar de la República Dominicana

La mayoría de los datos de radiación disponibles están para el plano horizontal e incluye ambas la radiación directa e indirecta. Dos tipos de data están disponibles; la radiación diaria promedio mensual “H” en la superficie horizontal; y la radiación horaria “I” en la superficie horizontal. Para nuestro interés solo se considerara la radiación H ya que el programa en cuestión realiza las simulaciones globales.

4.1.2 Irradiación en el Plano Horizontal

Tabla 28: Irradiación en el Plano Horizontal kWh/m²/día
(<http://eosweb.larc.nasa.gov>)

Irradiación en el Plano Horizontal (kWh/m ² /day)													
Lat	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Promedio Annual
18.48 Lon - 69.97 22- años	4,20	4,80	5,48	5,80	5,68	5,67	5,62	5,42	5,09	4,80	4,26	4,01	5,07

Los datos concernientes a las Horas de Sol, Irradiación en el Plano Inclinado, Índice de claridad, Albedo y Temperatura se encuentran en los anexos.

Anexo I: Datos recursos solar

4.1.3 Consumo eléctrico MWh

Los datos que se presentan a continuación fueron obtenidos de mediciones directas en el recinto.

La siguiente tabla muestra los consumos mensuales:

Tabla 29: Consumo anual del INTEC

Mes	Consumo MWh
Enero	96,2
Febrero	150,1
Marzo	169,3
Abril	172,7
Mayo	156,8
Junio	192,3
Julio	204,2
Agosto	155,0
Septiembre	181,5
Octubre	183,2
Noviembre	156,3
Diciembre	181,2

El consumo anual del INTEC es de **1 998 MWh**.

Para más detalles de las fuentes de medición se pueden consultar los anexos.

Anexo II: Datos mediciones de consumo eléctrico

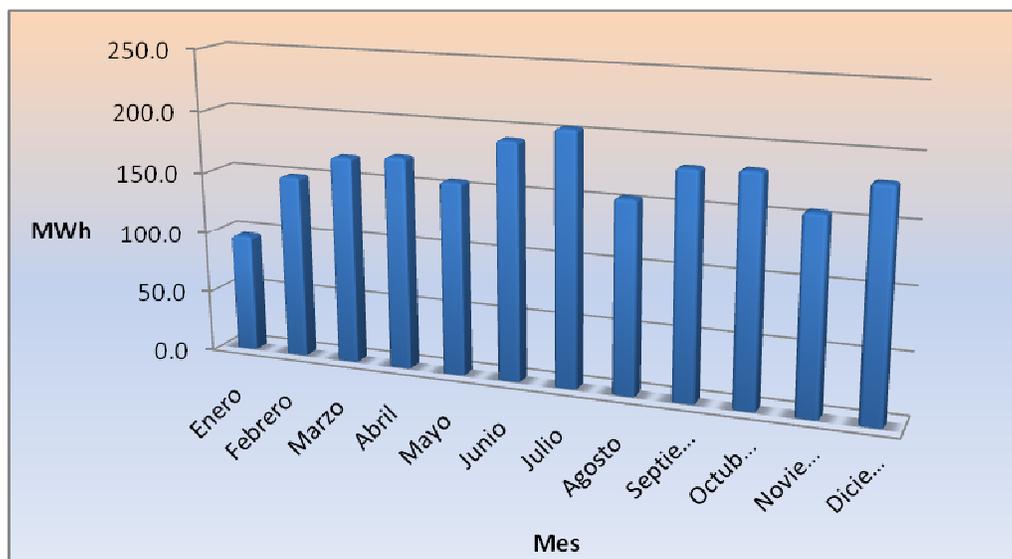


Figura 10: Consumo mensual

Es bueno aclarar que las mediciones realizadas toman en cuenta los cortes energéticos de las distribuidoras, es decir, la energía generada por grupos electrógenos de emergencia, está incluida. No obstante, se muestra un histórico del año 2006 donde se puede apreciar las cantidades de galones de combustible consumidos y la generación estimada por mes.

Anexo III: Datos de consumo combustible

4.2 Medición y Datos de las Áreas

Esta sección presenta las mediciones realizadas a las diferentes áreas. Estos datos fueron obtenidos de acuerdo a mediciones realizadas en campo y las consultas de planos generales.

Las áreas que se consideran se muestran a continuación:

1. Instalaciones del INTEC
2. Instalaciones de la Oficina Nacional de la Propiedad Intelectual (ONAPI)
3. Escuela Fray Ramón Pané
4. Terreno 1
5. Terreno 2

4.2.1 Instalaciones del INTEC

Por Instalaciones del INTEC, el autor se refiere a todas las edificaciones y áreas que están dentro del recinto universitario. La siguiente tabla muestra el detalle de áreas;

Tabla 30: Instalaciones del INTEC

No.	Descripción	Area (m ²)
1	Cancha	3 778
2	Centro Estudio	56
3	Edif. Arturo Jimenez	422
4	Edif. Emilio Rodríguez Demorizi	1 370
5	Edif. Ercilia Pepín	1 257
6	Edif. Evangelina Rodríguez	203
7	Edif. Fernando Defilló	865
8	Edif. Fundadores	736
9	Edif. García de la Concha	958
10	Edif. Medicina	442
11	Edif. Pedro Bonó	734
12	Parqueo General	3 033
13	Parqueos Profesores	1 175
14	Servicios ADM	115

De acuerdo a los metrajes presentados se tendría extensión total de **15 144 m²**

Una de las ventajas que ofrecen estas áreas es que al estar dentro del recinto, facilitarían las instalaciones y conexiones del sistema fotovoltaico. Además, la seguridad física, una vez instalados los sistemas fotovoltaicos, sería mayor. El plano, Vista General del INTEC, muestra sus respectivas instalaciones.

(Anexo IV: Plano Vista General del INTEC)

4.2.2 Instalaciones Oficina Nacional de la Propiedad Intelectual (ONAPI)

Las áreas de estas instalaciones han sido consideradas tomando en consideración futuros acuerdos entre instituciones y por estar relativamente cerca al INTEC para fines de realizar un proyecto fotovoltaico. Se aclara que tales áreas no son propiedades del INTEC.

Las áreas a considerar son las pertenecientes a los techos de cada edificación. Las mismas tienen una extensión de **595 m²**

4.2.3 Instalaciones de la Escuela Fray Ramón Pané

Las áreas de estas instalaciones han sido consideradas debido a que actualmente existen acuerdos entre instituciones y por estar relativamente cerca al INTEC para fines de realizar un proyecto fotovoltaico. Se aclara que tales áreas no son propiedad del INTEC.

Las áreas a considerar son las pertenecientes a los techos de cada edificación. Las mismas tienen una extensión de **2 039 m²**

4.2.4 Terreno 1

El Terreno 1 está ubicado fuera de las instalaciones del INTEC. Actualmente está siendo utilizado como parqueo. Es comúnmente llamado “El Desierto”. Es propiedad del INTEC. La extensión de este terreno es de **8 023 m²**

Una ventaja que presenta este terreno es, que al ser utilizado como parqueo, puede ser techado con los paneles mediante estructuras físicas fijas. Estas estructuras, además de soportar el peso de los paneles, darían una fachada elegante y funcional a los parqueos.

4.2.5 Terreno 2

Este terreno, aunque no sea propiedad del INTEC, está frente al recinto lo que representa una potencial área también. Este solar tiene unos **14 000 m²**.

La ventaja de esta área es que puede ser utilizado para instalar una planta fotovoltaica con seguidores de un eje y dos ejes y así conseguir mayor rendimiento. Además, tendría un impacto visual muy atractivo hacia el medio ambiente local.

[\(Anexo V: Terreno Frente al INTEC\)](#)

4.3 Evaluación y Potencial de Áreas

El objetivo principal de evaluar las áreas, es poder saber de qué capacidad se dispondría por cada edificio. Esto es, no todos los techos o terrenos tendrán la disponibilidad para instalar paneles fotovoltaicos en toda su extensión. Con esto se puede decidir, en parte, qué tecnología y área se utilizaría para edificar la planta fotovoltaica.

De acuerdo al criterio del autor se realizaron las evaluaciones en función de las pendientes de cada techo, los obstáculos existentes, orientación y los árboles que se encuentran en las periferias de cada edificio o área. En el anexo F se encuentran los comentarios e imágenes de cada área.

(Anexo VI: Evaluación y Potencial de Áreas)

La tabla 32 muestra el resumen de las áreas brutas y disponibles.

Tabla 31: Evaluación y Potencial de Áreas

Descripción	Ab ² (m ²)	Ad ³ (m ²)
Instalaciones del INTEC	15 144	8 223
ONAPI	595	595
Escuela Fray Ramón Pané	2 039	2 039
Terreno 1	8 023	8 023
Terreno 2	14 000	14 000

Por lo que se puede apreciar en la tabla 32, las únicas áreas afectadas son las del INTEC. Esto quiere decir que no se dispondrá del área total medida. Las instalaciones restantes se pueden utilizar en su totalidad.

4.4 Análisis de Capacidad “kW”

² Área bruta (m²)

³ Área disponible (m²)

Una forma sencilla de obtener las capacidades de los generadores fotovoltaicos para cada instalación, es utilizar factores de utilización. Los mismos son obtenidos en función de una evaluación realizada en autoCAD con las áreas de los paneles y un área de referencia. El cálculo consiste en determinar qué cantidad de m² de paneles FV se pueden instalar por cada m² superficial. Para ello se utilizan los datos de eficiencia y área de cada panel los cuales son mostrados en la tabla 33.

Los datos mostrados en la tabla 33 son obtenidos de los paneles según la tecnología sugerida en la conclusión de las tecnologías propuestas.

Tabla 32: Eficiencias y Áreas Módulo Fotovoltaicos

No.	Tecnología	Eff	Área (m ²)	P (W)
1	Mono Cristalino	20,4%	1,63	333
2	CPV	22,7%	2,75	400
3	Película Fina [R]	13,1%	1,07	140
4	Película Fina [F]	12,6%	2,84	300

Para determinar los factores se utiliza la siguiente ecuación para la estimación de separación entre filas compuestas por paneles fotovoltaicos:

$$d = h \cdot \left(\cos \beta + \frac{\sin \beta}{\tan \alpha_s} \right)$$

Ecuación 1: Separación entre filas

Donde:

- d = distancia entre paneles
- h = altura panel
- β = inclinación
- α_s = altitud solar

Es de saber que para los paneles flexibles esta ecuación no aplica. Se aclara que para los paneles de concentración FV se considera la instalación en seguidores de dos ejes.

Tabla 33: Relación Áreas Factor Utilización

No.	Tecnología	Area (m ²)	Area FV (m ²)	Factor
1	Mono Cristalino	110	72	0,65
2	CPV	1 517	340	0,22
3	Película Fina (Rígido)	110	74	0,67
4	Película Fina (Flexible)	110	74	0,67

(Anexo VII: Plano Factor utilización)

Para hacer los cálculos de capacidad se utilizan los factores determinados para cada tecnología:

$$C_{kW} = \frac{P_p}{1000} \cdot \left(\frac{A \cdot F_a}{A_p} \right)$$

Ecuación 2: Cálculo Capacidad kW

Donde:

- P_p = Potencia panel (W)
- A = Área de la instalación (m²)
- F_a = Factor
- A_p = Area del panel (m²)

La tabla 34 muestra los valores de capacidad según el área. Para estos cálculos se utilizaron los factores de utilización mostrados en la tabla 34 y las áreas mostradas en la tabla 32.

Tabla 34: Análisis de capacidad kW

Descripción	Mono Cristalino (kW)	CPV (kW)	P.F. ⁴ [R] (kW)	P.F. ⁵ [F] (kW)
Instalaciones del INTEC	1 095	269	722	583
ONAPI	79	19	52	42
Escuela Fray Ramón Pané	272	67	179	145
Terreno 1	1 069	262	705	569
Terreno 2	1865	457	1 229	992

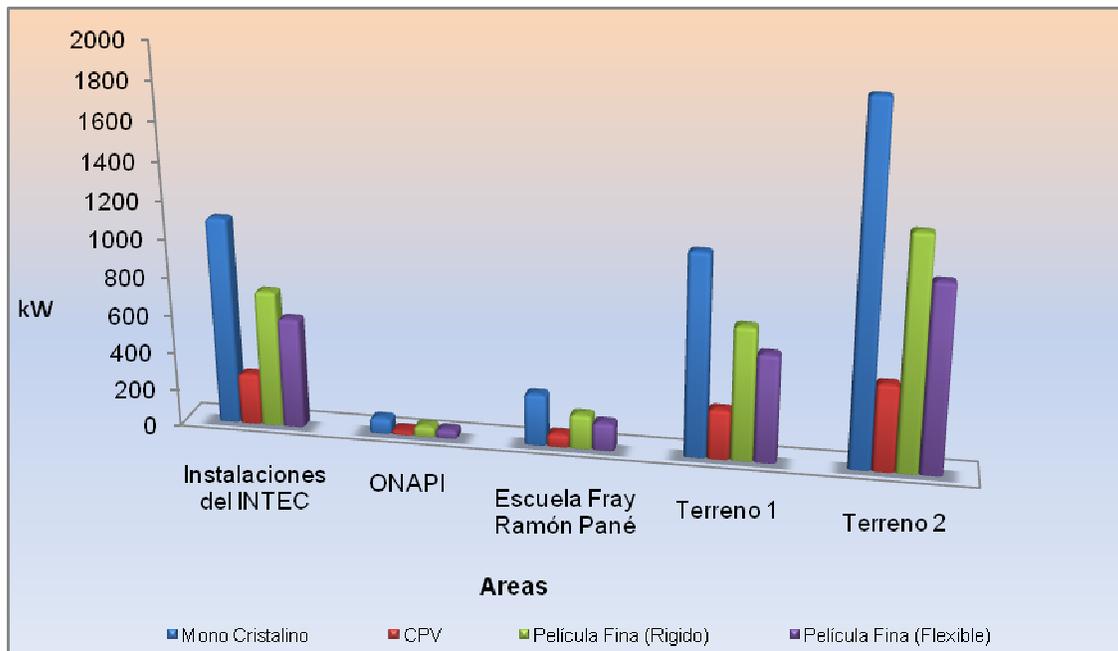


Figura 11: Análisis de Capacidad

⁴ Panel Fotovoltaico rígido de película fina

⁵ Panel Fotovoltaico flexible de película fina

Como se puede apreciar tanto la tabla 34 como en el gráfico 3, la tecnología con mayor capacidad es con paneles FV Monocristalinos. No obstante, como se verá en la sección de variantes, no siempre esta tecnología será la más recomendable según el área.

4.5 Variantes

Esta sección tiene como objetivo evaluar distintas opciones de las áreas definidas. A criterio del autor las variantes son combinaciones de las áreas propuestas. La finalidad es determinar cuál opción u opciones son las más convenientes para instalar una planta fotovoltaica en el INTEC.

No.	Descripción
1	INTEC
2	INTEC + Escuela
3	INTEC + Escuela+ONAPI
4	INTEC + Terreno 1
5	Terreno 2
6	INTEC + Terreno 1+Terreno 2

En función de la tabla 35 análisis de capacidad, se realizan los cálculos de acuerdo a las variantes presentadas. Por cada variante se presenta la capacidad en kW en función de las tecnologías.

Tabla 35: Capacidad Variantes según Tecnología

Variante	Descripción	Mono Cristalino kW	CPV kW	Película Fina [R] kW	Película Fina [F] kW
Variante 1	INTEC	1 095	269	722	583
Variante 2	INTEC + Escuela	1 367	335	901	728
Variante 3	INTEC + Escuela+ONAPI	1 446	355	953	770
Variante 4	Terreno 2	1 865	457	1 229	992

Variante	Descripción	Mono Cristalino kW	CPV kW	Película Fina [R] kW	Película Fina [F] kW
Variante 5	INTEC + Terreno 1	2 164	531	1 427	1 152
Variante 6	INTEC + Terreno 1 + Terreno 2	4 029	988	2 656	2 144

Al analizar la tabla 35 se puede apreciar que las capacidades según la tecnología CPV están por debajo de las demás. No obstante, en algunas variantes como la 5 y 6, las capacidades son considerables. De acuerdo al criterio del autor, no se va a considerar la tecnología CVP para el análisis de factibilidad. Esto es debido a que en la mayoría de las variantes, no serían técnicamente viables como consecuencia de la separación de los seguidores y su fijación a los techos existentes.

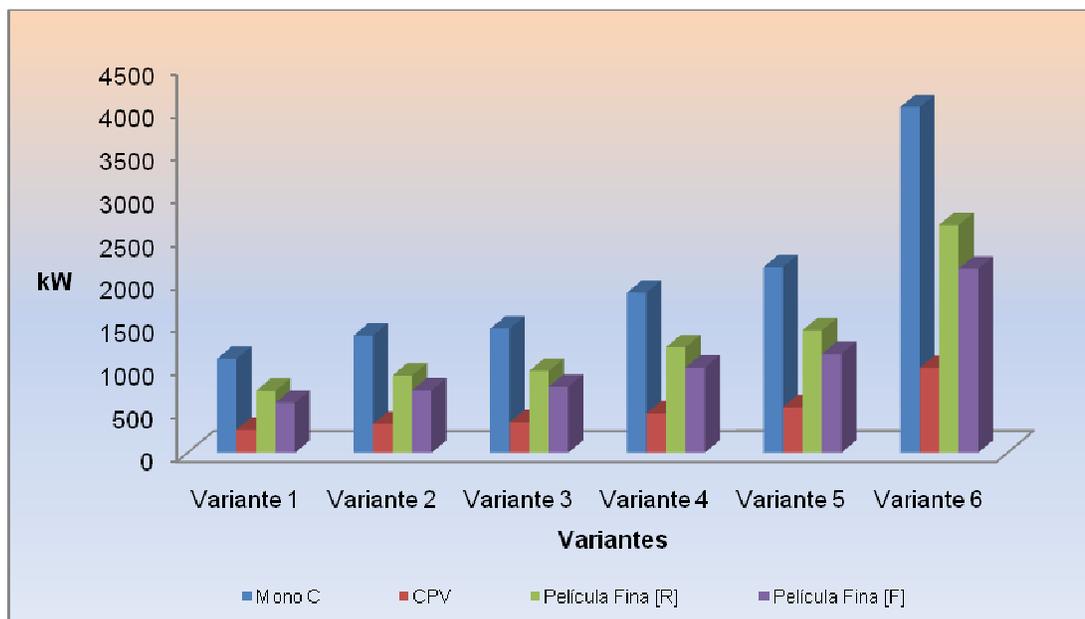


Figura 12: Capacidad Variantes según Tecnología

4.6 Generación de Energía Eléctrica

En esta sección se presentan los resultados de generación en función de las capacidades determinadas. Para realizar los cálculos de generación, el autor se ha basado en la utilización del programa llamado HOMER.

Para las simulaciones se utilizaron de irradiación mostrados en la tabla 28, se consideran los paneles al 80% de su capacidad durante el periodo de vida útil, no se consideraron pérdidas por sombras, la eficiencia del inversor considerada es del 96% y las pérdidas del sistema en general es del 2%.

Los resultados de las simulaciones se encuentran en los anexos.

Anexo VIII: Simulación Generación de Energía Eléctrica

De acuerdo a las variantes propuestas se tienen los siguientes resultados de generación anual por tecnología. Se aclara que la tecnología CPV no ha sido considerada en tales simulaciones.

Tabla 36: Generación de Energía Eléctrica Anual

Variantes	Monocristalino	Película Fina [R]	Película Fina [F]
	MWh	MWh	MWh
Variante 1	1 842	1 207	941
Variante 2	2 300	1 506	1 176
Variante 3	2 433	1 593	1 243
Variante 4	3 138	2 054	1 602
Variante 5	3 641	2 385	1 860
Variante 6	6 779	4 438	3 462

La tabla 36 muestra el resumen de generación anual. Cada tecnología fotovoltaica, presenta una capacidad de generación en MWh anuales. Como se puede apreciar, todas las capacidades con tecnología silicio monocristalino excede el consumo del INTEC (1998MWh anual) con la excepción de la Variante 1.

La Variante 5, cuya combinación de áreas está compuesta por las instalaciones del INTEC y el Terreno 1 (parqueo el Desierto), presenta una generación que excede el consumo eléctrico del recinto universitario utilizando las tecnologías Silicio Monocristalino y Película Fina (paneles rígidos). Es de la opinión del autor que esta variante sea la más conveniente para instalar un proyecto fotovoltaico. Estas instalaciones pertenecen al INTEC y su integridad física permite mayor seguridad en el sistema. En lo sucesivo los cálculos y análisis se realizarán con esta Variante.

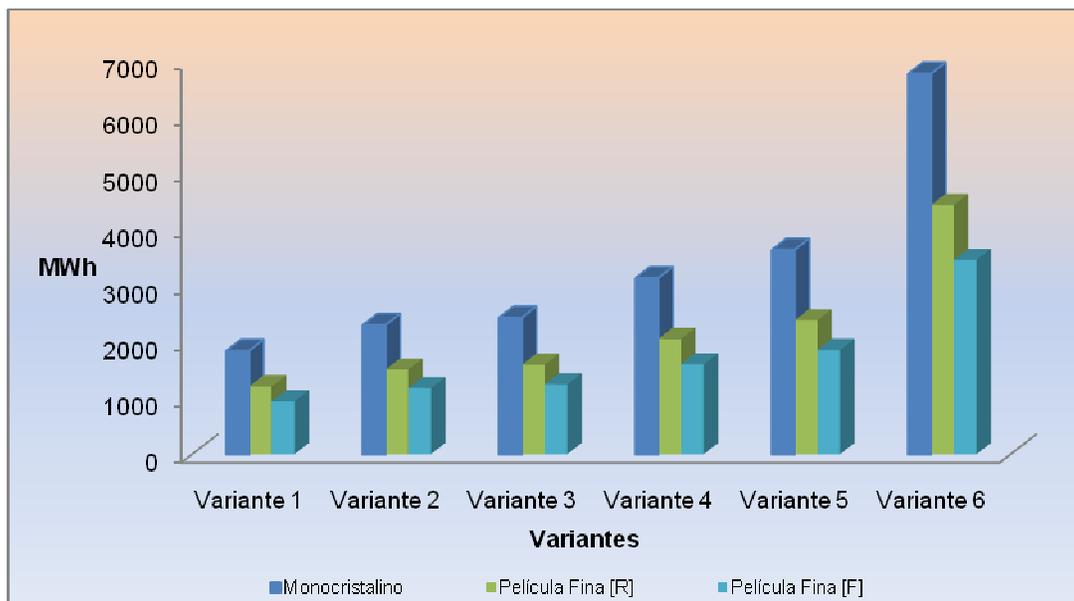


Figura 13: Generación de Energía Eléctrica Anual

Es de suma importancia conocer la compra y venta de energía a la red para fines de análisis de factibilidad. En este capítulo se concluye mostrando tales datos de acuerdo a las capacidades de la Variante 5.

Tabla 37: Compra y Venta de Energía_Variante 5

Tecnología	Capacidad kW	Compra Energía MWh	Venta Energía MWh	Excedente Energía MWh
Silicio Monocristalino	2 164	518	1923	1 405
Película Fina [R]	1 427	613	904	291
Película Fina [F]	1 152	695	483	-213

4.7 Créditos de Carbono

En esta sección se determinará la cantidad de toneladas de CO₂ anuales que cada sistema capturaría en función de su capacidad de generación. Como se ha planteado en los Mecanismos de Desarrollo Limpio cada tonelada de CO₂ equivaldría un crédito de carbono (CER).

El siguiente cálculo se basa en utilizar un factor de conversión, esto es, cuantas toneladas de CO₂ se pueden capturar por cada kWh generado. Este factor es igual a 7.12×10^{-4} metric tons CO₂ / kWh. **(43)**

Tabla 38: Créditos de Carbono eGRID 2005

Variante	Monocristalino tCO ₂ /Año	Película Fina [R] tCO ₂ /Año	Película Fina [F] tCO ₂ /Año
Variante 1	1 282	840	655
Variante 2	1 601	1 048	818
Variante 3	1 693	1 108	865
Variante 4	2 184	1 429	1 115
Variante 5	2 534	1 660	1 295
Variante 6	4 719	3 089	2 410

Dado que este es un cálculo con un factor genérico, el autor se inclina a calcular las cantidades de CREs utilizando la matriz de generación eléctrica del país. Para esto se utiliza el programa de simulación llamado RETScreen.

La tabla 39 muestra los valores calculados según este criterio.

Tabla 39: Créditos de Carbono RETScreen

Variantes	Monocristalino tCO ₂ /Año	Película Fina [R] tCO ₂ /Año	Película Fina [F] tCO ₂ /Año
Variante 1	1 235	809	631
Variante 2	1 542	1009	788
Variante 3	1 631	1 067	833
Variante 4	2 103	1 376	1 074
Variante 5	2 440	1 598	1 247
Variante 6	4 544	2 975	2 320

Dado que la tabla 31 muestra el resumen de los CREs, se presenta el detalle de los cálculos en los anexos.

Anexo IX: Calculo tCO₂

De los datos presentados en la tabla 38 y 39, se puede apreciar que las diferencias entre los resultados no son considerables. Se está hablando de un 4% de diferencia que para el objeto de este estudio es aceptable, debido a que se han considerados pérdidas por transmisión en el segundo cálculo.

Según el criterio del autor, el cálculo basado en la matriz energética, sería más real para el estudio en cuestión. Por tal razón se entiende que los valores a considerar para insertar los créditos de carbono al mercado, serían los calculados con la tabla del RETScreen. En la figura 12 se muestran gráficamente las cantidades de créditos de carbono que se generarían en función de la tabla 39.

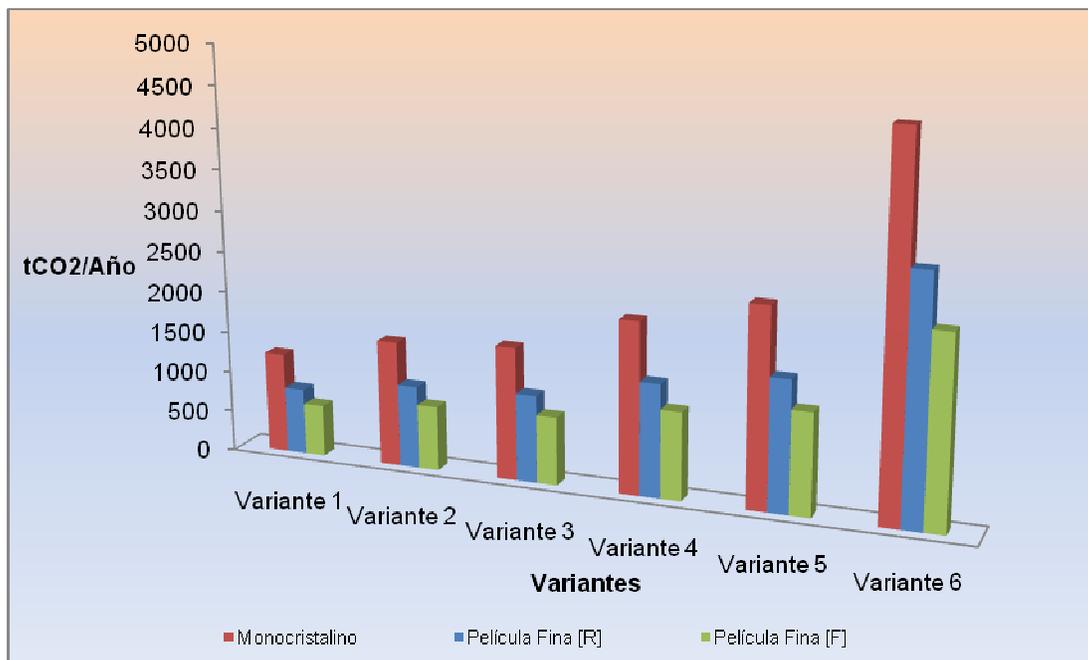


Figura 14: Cantidades tCO2 / Año

4.8 Análisis de Factibilidad

En esta sección se presentan los análisis de factibilidad de la Variante 5. No es objeto de este estudio realizar análisis de factibilidad por cada Variante. Lo que se busca esencialmente es saber qué nivel de factibilidad tendría un proyecto solar fotovoltaico de acuerdo a la tecnología y la Variante a elegir. De acuerdo al criterio del autor se podrá obtener una idea general para las demás capacidades en función de un único análisis. Se presentarán los análisis de factibilidad de cada tecnología (sin incluir CPV) de acuerdo a la variante 5.

Para realizar tales análisis se considerarán los indicadores de factibilidad tales como el valor actual neto “VAN”, tasa interna de retorno “TIR” y el tiempo de retorno de la inversión. No obstante, otros datos de interés se presentan como los son, Los Incentivos de la Ley 57/07, Precios de la Energía, Tasa de Escalonamiento de Combustible, Tasa de Inflación, Tasa de Descuento y la Tasa de Interés de la Deuda.

El autor aclara, que estos análisis están realizados en base a los datos y consideraciones presentadas en el presente estudio.

4.8.1 Incentivos de la Ley 57/07

Debido a que el país tiene una ley de incentivos a las energías renovables, se consideran tales incentivos en los análisis. Citando tales incentivos se muestran los siguientes artículos de la ley 57/07 en la tabla 33. Para más detalles, consultar los anexos.

Anexo X: Incentivos de la Ley 57/07 (artículos de interés para el análisis)

Tabla 40: Incentivos de la Ley 57/07

No.	Incentivo	Artículo	Valor
1	Exoneración de impuestos para la importación	9	100%
2	Exoneración intereses por financiamientos externo	11	5%
3	Certificado o bonos por reducción de emisiones	14	-
4	Venta de excedente de energía	20/95	50%
5	Precio Venta de energía excedente para autoprodutores	108	10.0c\$/kWh

El autor aclara que no se considera el incentivo que genera la deducción del hasta el 75% de la inversión. Esto es debido, a que las universidades no pagan impuestos sobre la renta y por ende tal incentivo no aplica.

4.8.2 Precios de la Energía

Para realizar el aporte de divisas por concepto de ahorro de energía, se debe de saber que tarifa tiene el recinto asignada por parte de la distribuidora. Más abajo se muestran los valores en dólares según la tabla tarifaria MTD-2.

Tabla 41: Precios de la Energía Eléctrica

Descripción	Unidad	Valor
Cargo Fijo	-	US\$6,17
Energía	kWh	US\$0,190
Potencia Máxima	kW	US\$12,59

4.8.3 Tasa de Inflación

Para este valor se consideró el promedio del año 2010 igual al 4,2%, según el índice de precios al consumidor IPC 2010 (44).

4.8.4 Tasa Descuento

La tasa de descuento abarca la tasa del riesgo país, tasa de inflación (país donde se considera la tasa de interés sin riesgo) y la tasa de interés sin riesgo.

4.8.5 Tasa de Riesgo

De acuerdo al documento “Country Default Spreads and Risk Premiums” la tasa de riesgo país es de un 6% a Julio del 2011 (45).

4.8.6 Tasa de Inflación

Esta tasa es tomada del documento “The US Inflation Rate-2011”.

Tasa tomada 0,25% que fue la tasa de inflación del 2011 en los Estados Unidos, ya que el presente proyecto se ha desarrollado en US\$ dólares. No obstante, se considerará una tasa de un 2,5% para los cálculos previendo incremento o variaciones en el período previsto (46).

4.8.7 Tasa de interés sin Riesgo

Esta tasa es calculada en base a los Bonos del Tesoro Americano 4,79% (6 meses) en diciembre del 2011, más el porcentaje adicional exigido por el inversionista. Según criterio del autor el inversionista estaría tranquilo en invertir en este tipo de proyecto con las tasas de riesgo e inflación propuestas (47).

Finalmente la Tasa de Descuento del proyecto es de $(6,0+2,25+4,79) = \underline{13,04\%}$

4.8.8 Presupuestos

Para el análisis de factibilidad se necesita el monto de la inversión por tal razón se presenta un presupuesto estimado de cada tecnología.

Los presupuestos incluyen los paneles fotovoltaicos, inversores, estructuras de montaje, cables, montaje e ingeniería. En la tabla 42 se muestran los presupuestos según la capacidad y tecnología de la Variante 5.

Tabla 42: Presupuestos

Tecnología	Capacidad kW	Presupuesto US\$	Precio US\$/kW
Silicio Monocristalino	2 164	\$5 484 787,84	\$2 534,56
Película Fina [R]	1 427	\$3 854 205,71	\$2 700,92
Película Fina [F]	1 152	\$2 601 694,08	\$2 258,42

Anexo XI: Presupuestos

4.8.9 Precio Crédito de Carbono “CER”

Para considerar los créditos de carbono en el análisis se consultó la bolsa para fines de tener un precio unitario. El precio por CERs es de **US\$7,38** para el día 28 de diciembre de 2011 **(48)**.

4.8.10 Análisis

Variante 5_Instalaciones del INTEC + Terreno 1

4.8.10.1 Tecnología Silicio Monocristalino

En la tabla 43 se resumen los datos de entrada considerados para el análisis de factibilidad de la variante planteada:

Tabla 43: Datos de Entrada Análisis de Factibilidad_Variante 5_Tec. Silicio MonoC

GENERAL		
Inversión Capital	\$5 484 787,84	US\$ Dollar
Período	25	Años
Tasa de Inflación	4,20%	%
Escalamiento Energía	2%	%
Tasa de Descuento	13,04%	%
Costo O&M	1%	%
Precio Energía	\$190,00	US\$/MWh
Precio CERs	7,38	US\$/CER

Tabla 44: Resultados Variante 5_Tec Silicio MonoC

TIR (%)	14,3%
VAN	\$498 462,67
TR (Años)	7,24

El flujo de caja que se muestra es acumulado. Considera la inversión inicial y los flujos anuales durante el período planteado.

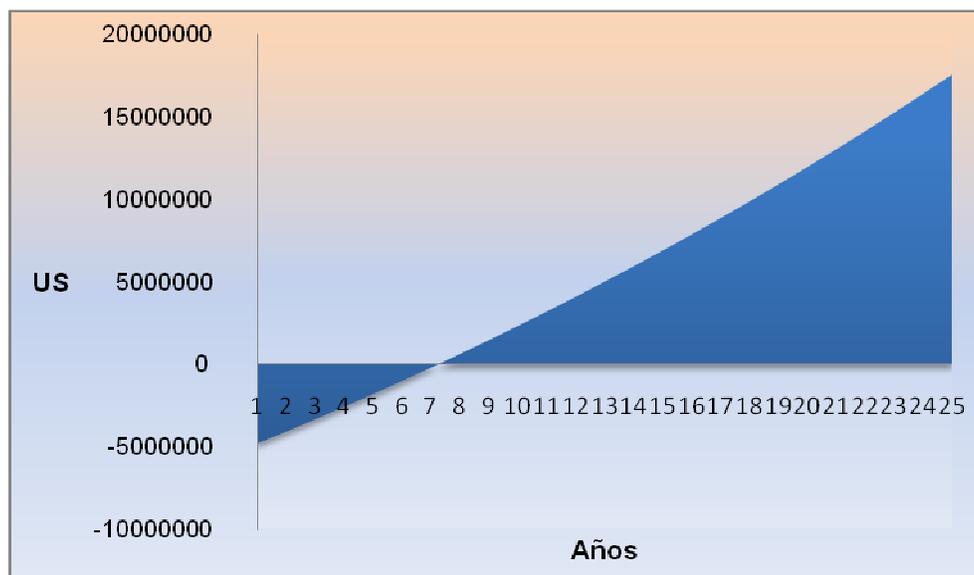


Figura 15: Flujo de Caja_Variante 5_Tec. Silicio MonoC

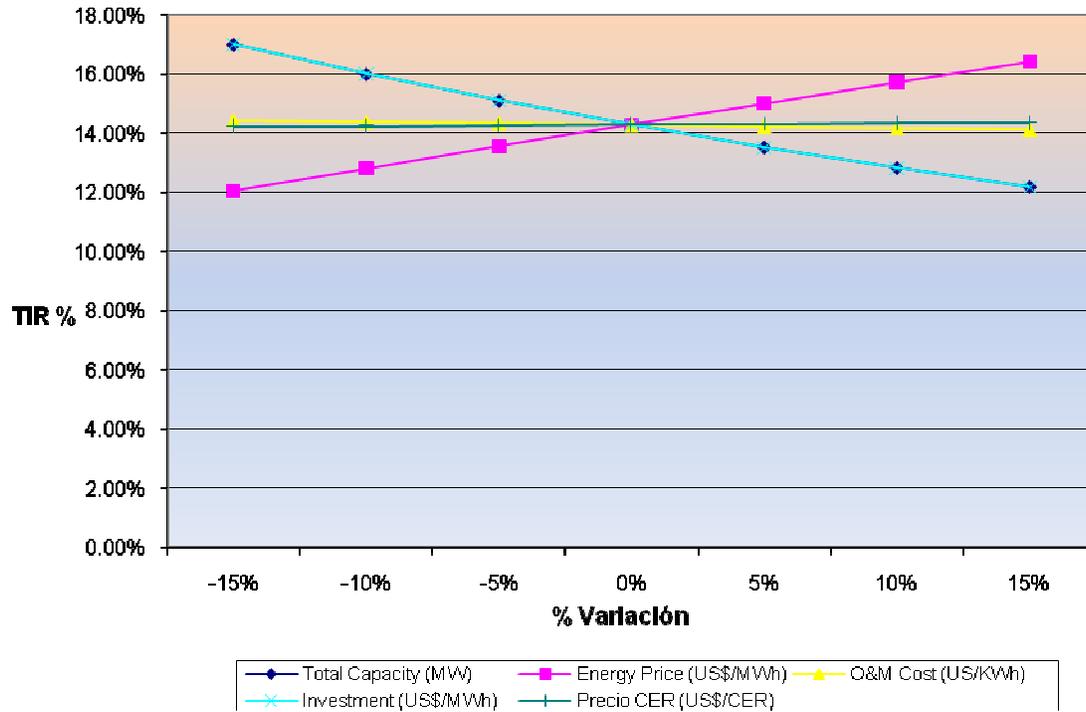


Figura 16:

Sensibilidad TIR_Variante 5_Tec. Silicio MonoC

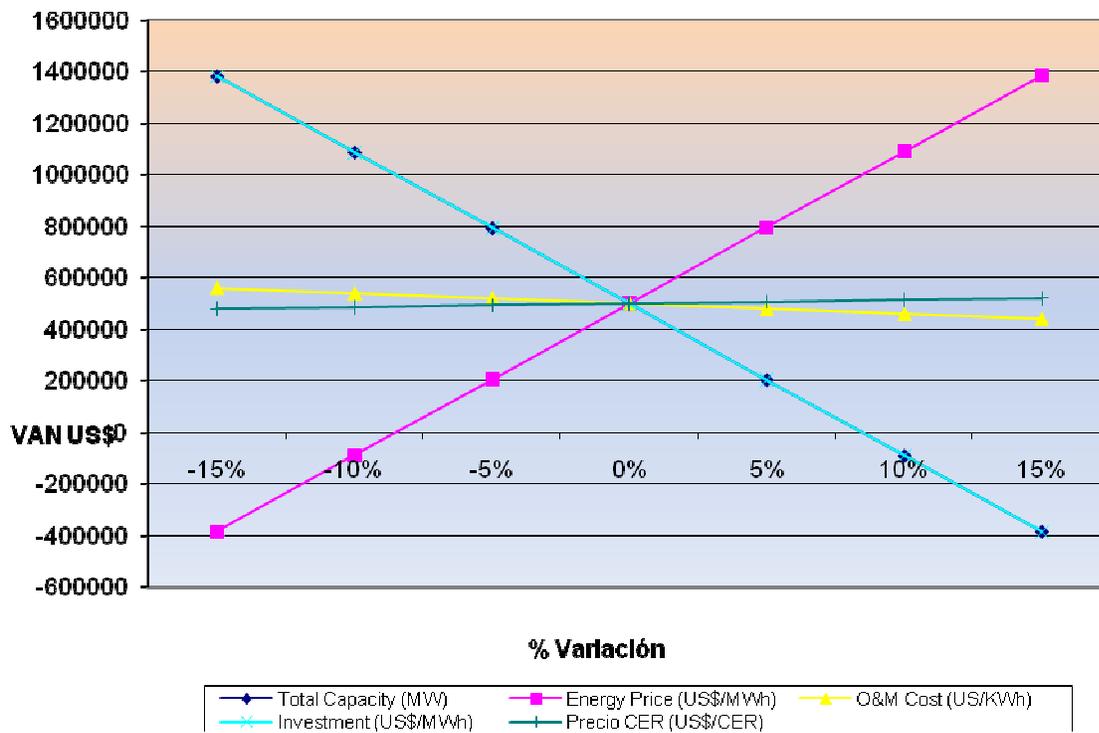


Figura 17: Sensibilidad VAN_Variante 5_Tec. Silicio MonoC

4.8.10.2 Tecnología Película Fina [R]

En la tabla 45 se resumen los datos de entrada considerados para el análisis de factibilidad de la variante planteada:

Tabla 45: Datos de Entrada Análisis de Factibilidad_Variante 5_Película F [R]

GENERAL		
Inversión Capital	\$3 984 184,00	US\$ Dollar
Período	25	Años
Tasa de Inflación	4,20%	%
Escalamiento Energía	2%	%
Tasa de Descuento	13,04%	%
Costo O&M	1%	%
Precio Energía	\$190,00	US\$/MWh
Precio CERs	7,38	US\$/CER

Tabla 46: Resultados Variante 5_Tec. Película F [R]

TIR (%)	12,8%
VAN	(\$71 599,39)
TR (Años)	8,05

El flujo de caja que se muestra es acumulado. Considera la inversión inicial y los flujos anuales durante el período planteado.

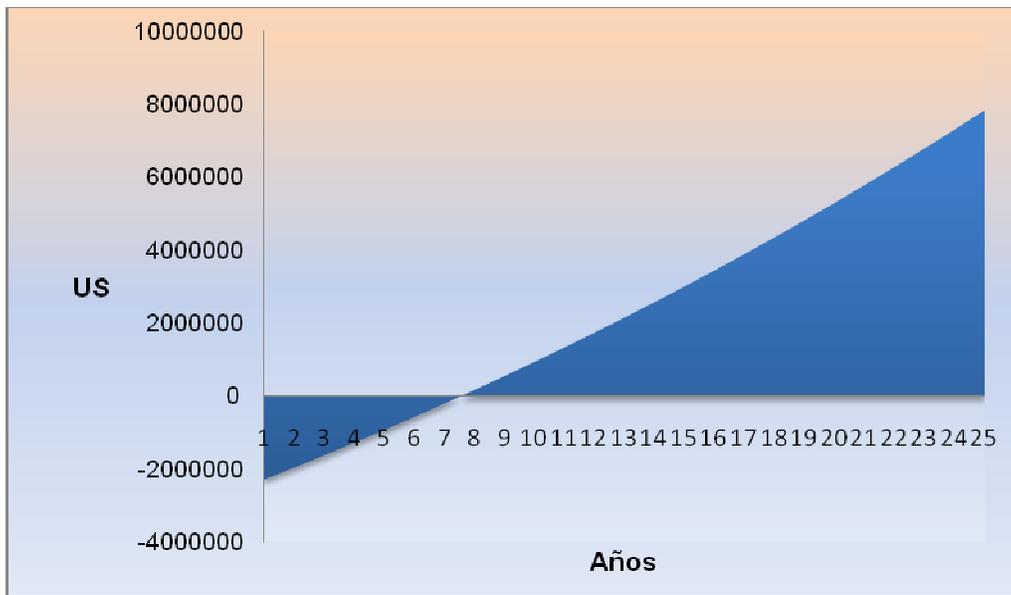


Figura 18: Flujo de Caja_Variante 5_Tec. Película Fina [R]

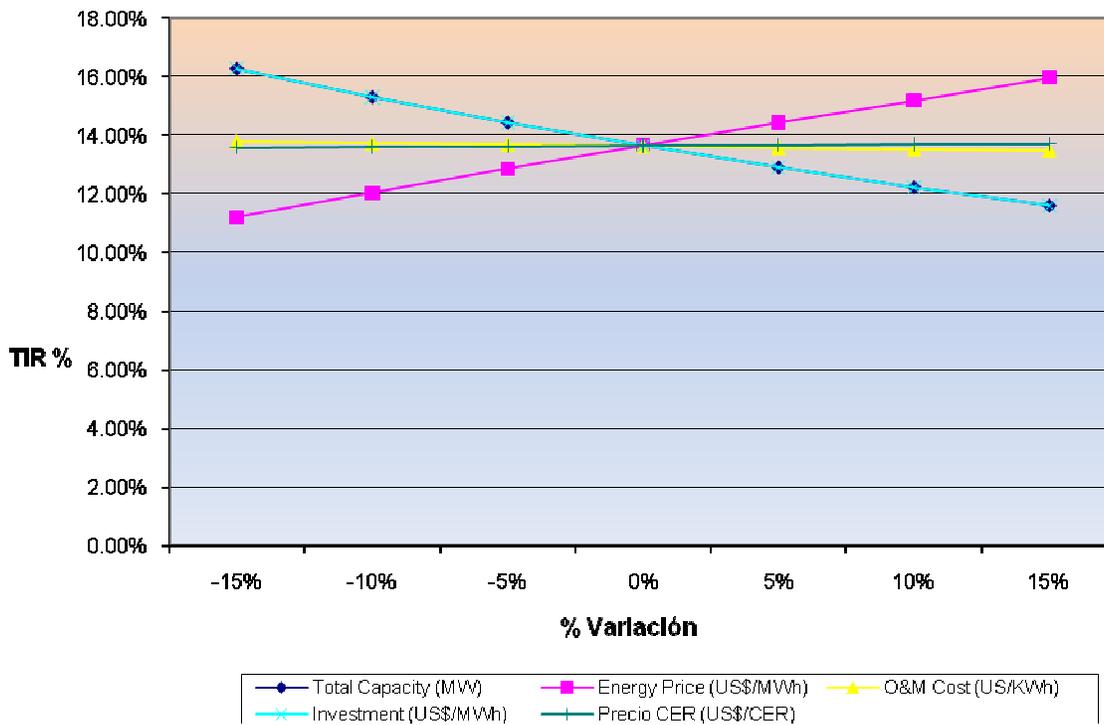


Figura 19: Sensibilidad TIR_Variante 5_Tec. Película Fina [R]

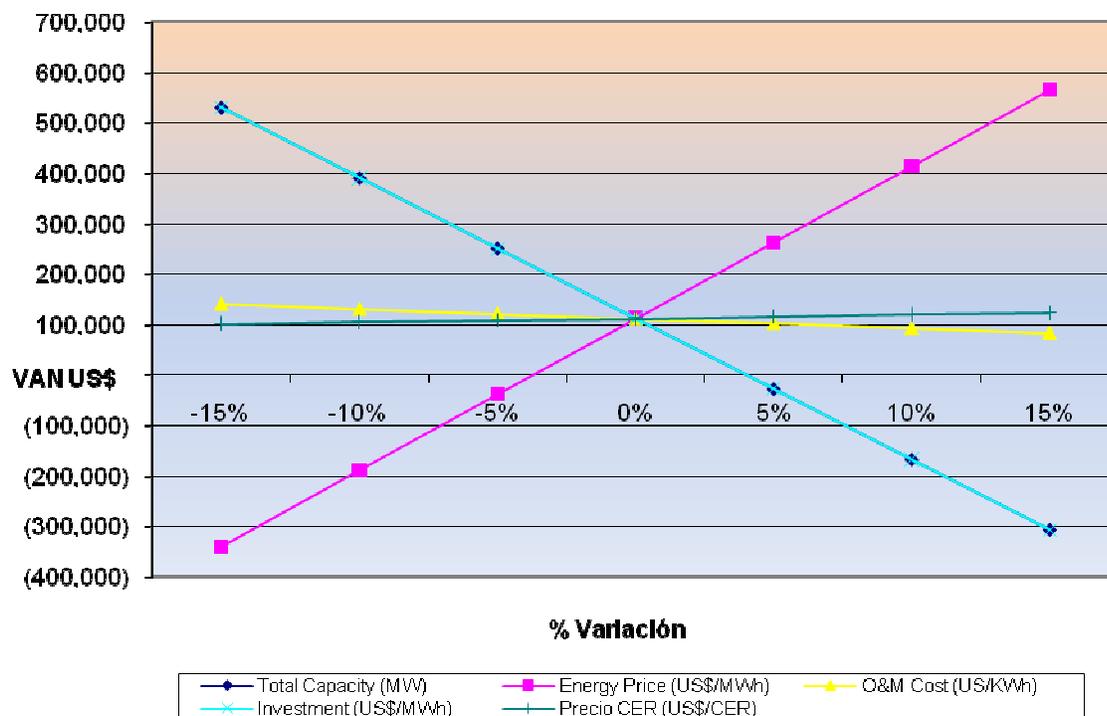


Figura 20: Sensibilidad VAN_Variante 5_Tec. Película Fina [R]

4.8.10.3 Tecnología Película Fina [F]

En la tabla 47 se resumen los datos de entrada considerados para el análisis de factibilidad de la variante planteada:

Tabla 47: Datos de Entrada Análisis de Factibilidad_Variante 5_Película F [F]

GENERAL		
Inversión Capital	\$2 601 699,84	US\$ Dollar
Período	25	Años
Tasa de Inflación	4,20%	%
Escalamiento Energía	2%	%
Tasa de Descuento	13,4%	%
Costo O&M	1%	%
Precio Energía	\$190,00	US\$/MWh
Precio CERs	7,38	US\$/CER

Tabla 48: Resultados Variante 5_Tec. Película F [F]

TIR (%)	13,6%
VAN	\$112 094,01
TR (Años)	7,58

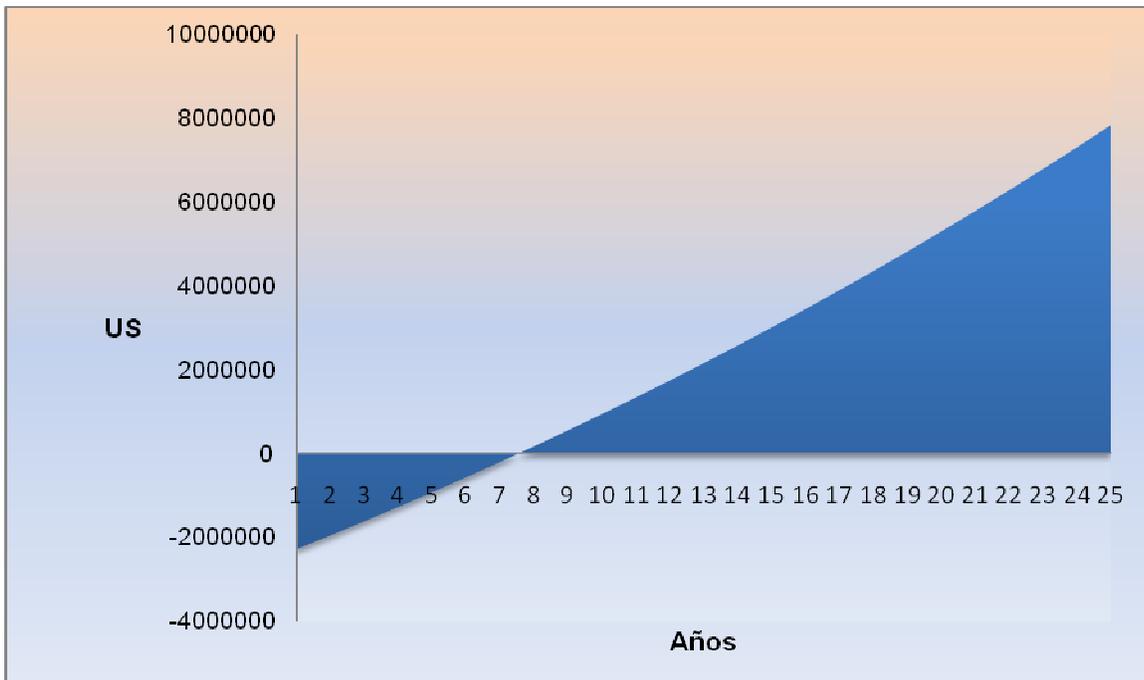


Figura 21: Flujo de Caja_Variante 5_Tec. Película Fina [F]

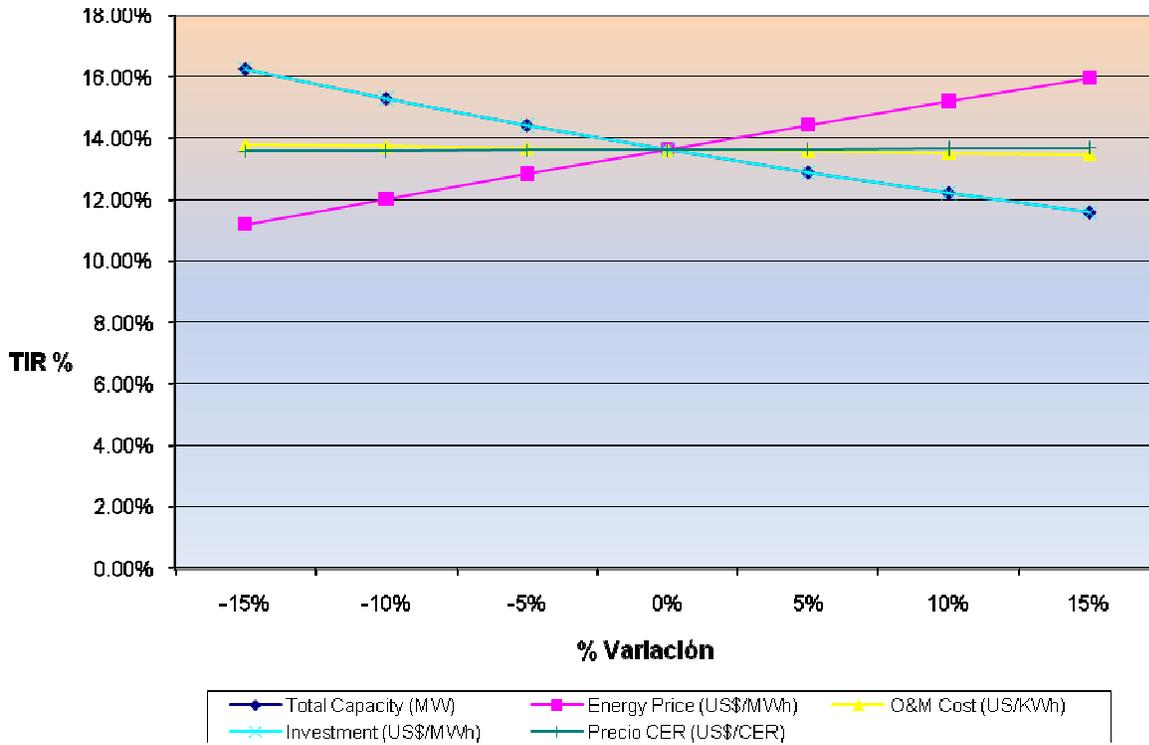


Figura 22: Sensibilidad TIR_Variante 5_Tec. Película Fina [F]

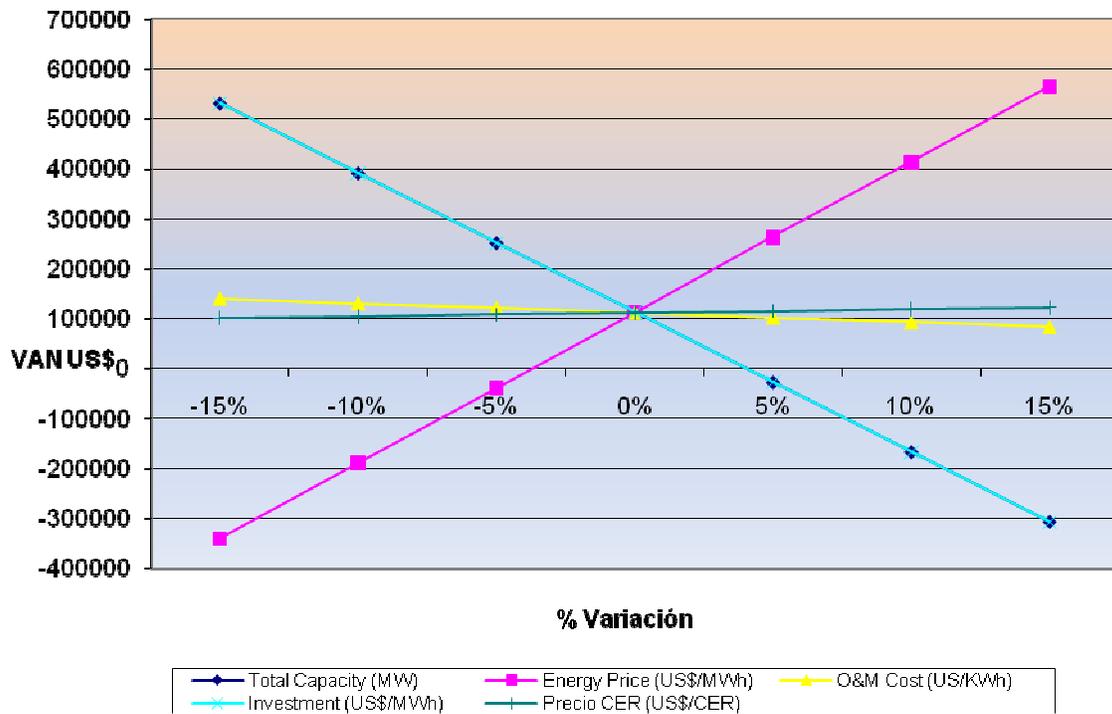


Figura 23: Sensibilidad VAN_Variante 5_Tec. Película Fina [F]

4.9 Resumen de Resultados

La tabla 49 muestra el resumen de los análisis realizados a la variante 5. Los valores de la Tasa Interna de Rendimiento, Valor Actual Neto y el Tiempo de Retorno son los indicadores de factibilidad presentados.

Tabla 49: Análisis de Factibilidad_Resumen de Resultados

Tecnología	Inversión US\$	TIR (%)	VAN US\$	TR (Años)
Tecnología Silicio MonoC	\$5 484 787,84	14,3%	\$498 462,67	7,24
Tecnología Película Fina [R]	\$3 984 184,00	12,8%	(\$71 599,39)	8,05
Tecnología Película Fina [F]	\$2 601 699,84	13,6%	\$112 094,01	7,58

De estos resultados se resumen los siguientes puntos:

- 4.9.1.1 Con los precios actuales de la tecnología silicio monocristalino se pueden realizar proyectos fotovoltaicos con niveles de factibilidad aceptables. Debido a su alto rendimiento, produce más energía que las demás por unidad de m² de utilizado.
- 4.9.1.2 Aunque no se considera un análisis de factibilidad con la tecnología silicio policristalino, se aclara que los precios actuales son también muy competitivos (por debajo US\$1,5). Por lo que, esta tecnología sería una alternativa a considerar al momento de tomar una decisión de inversión.
- 4.9.1.3 En este estudio se consideró la tecnología CIGS para los paneles de película fina tanto rígidos [R] como flexibles [F]. Como se pudo apreciar en los análisis los paneles flexibles son más factibles que los rígidos a nivel de inversión. Esto es debido a que estos no utilizan estructuras de montaje para la instalación en los techos. No obstante, se aclara que los paneles rígidos son más eficientes y producen más energía, por lo que, si al momento de realizar la inversión los precios de estructuras son menores, dicha tecnología sería factible.

- 4.9.1.4 La factibilidad se ve afectada mayormente por la sensibilidad de los precios de la energía y por la inversión. Según criterio del autor, los precios de la energía se proyectan subir en el futuro y los precios de la tecnología tenderían a la baja. Este escenario aumentaría la factibilidad y haría que los proyectos fotovoltaicos sean mucho más atractivos.
- 4.9.1.5 Actualmente los precios de los créditos de carbono no son los más atractivos. Sin embargo, si la tendencia en un futuro es que aumenten de precios, el ingreso por su venta sería mayor. Como consecuencia aumentarían los porcentajes de la Tasa Interna de Rendimiento (TIR) y los valores del Valor Actual Neto (VAN).
- 4.9.1.6 El tiempo de retorno de la inversión puede reducirse considerablemente en función de los precios de la inversión y la energía.

Las Sensibilidades de la Tasa Interna de Retorno y Valora actual Neto presentan los diferentes escenarios que podrían ocurrir variando los valores de la capacidad instalada (kW), el precio de la energía (US\$/MWh), costos de operación y mantenimiento (US\$/kWh), la Inversión (US\$/MWh) y los precios de los CERs (US\$/CER). Tales escenarios se crean al variar porcentualmente estos valores. En total se muestran seis (6) escenarios diferentes por cada variable (ver figuras de Sensibilidades).

De acuerdo a estos resultados, todas las variantes presentadas pueden ser tomadas en consideración para instalar una planta fotovoltaica. Esto dependerá de cómo se quiera realizar la inversión. Esto es, hacer el proyecto por etapas, con financiamiento o mediante programa de incentivos adicionales y/o donaciones.

CAPITULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO V

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- 5.1.1 Con la instalación de un sistema solar fotovoltaica, el INTEC generaría ingresos anuales por la venta de créditos de carbono a través del Mecanismo de Desarrollo Limpios. De acuerdo a la Variante 5 (Tecn. Silicio MonoC) tales ingresos serían de unos US\$16 531 dólares anuales.
- 5.1.2 Aunque los precios de los créditos de carbono CREs no son muy competitivos actualmente, los mismos influyen considerablemente en la viabilidad del proyecto. Se estima que los precios de los CREs sobrepasen los US\$15,00 dólares en un futuro cercano.
- 5.1.3 De las tecnologías fotovoltaicas, los paneles de silicio monocristalino, es la que más conviene por los precios actuales en el mercado. No obstante, se debe de considerar la tecnología CIGS de película fina flexible. La diferencia de precios del kW instalado entre ambas tecnologías, según este estudio, es de US\$276,00
- 5.1.4 La Variante 6, Instalaciones del INTEC + Terreno 1 +Terreno 2, tiene una capacidad que podría capturar 4 544 t CO₂/Año. Es la variante con mayor capacidad instalada (40 29kW), sin embargo, el Terreno 2 no es propiedad del INTEC actualmente. En caso de que la institución adquiriera el terreno, este podría acondicionarse o utilizar para fines diversos e incluir una planta fotovoltaica en las áreas de los techos.
- 5.1.5 La Variante 5, Instalaciones del INTEC + Terreno 1 (Solar Parqueo “El Desierto”), sería la más conveniente para realizar la instalación tomando como tecnología silicio monocristalino. Esto se considera a partir de la inversión (\$5 484 787,00) y su factibilidad (TIR 14,3%, VAN \$498 462,67 y TR 7,24 Años) En adición, la generación eléctrica del generador fotovoltaico estaría por encima del consumo. Con una capacidad instalada de 2 164kW se generarían 3 641 kWh anualmente lo cual excede el consumo en más del 80%.

5.2 Recomendaciones

- 5.2.1 Para insertar los créditos de carbono (CERs) en el Mecanismos de Desarrollo Limpio, se deben realizar procesos y/o gestiones tanto local como internacionalmente. Se sugiere que se realice un estudio de tales procesos para la colocación de los CERs en los mercados de carbono.
- 5.2.2 A través del Consejo Nacional para el Cambio Climático (CNCCMDL) de la R.D. existen mecanismos específicos para la Investigación y Desarrollo (I+D),. Se recomienda realizar un acercamiento entre el INTEC y la CNCCMDL con el objetivo de plantear la disponibilidad y enfoque de la institución para la Transferencia de Tecnología y Creación de Capacidades para hacer frente al Cambio Climático.
- 5.2.3 La tecnología solar fotovoltaica por concentración tiene proyecciones de seguir aumentando la eficiencia en los módulos. Se deja abierto el camino para realizar una investigación o en su defecto hacer un diseño que permita instalar tal tecnología en los techos de las instalaciones del INTEC.
- 5.2.4 Para que una planta fotovoltaica pueda suplir energía a las instalaciones del INTEC y la vez vender el excedente de energía a la red, se deberá sincronizar al sistema eléctrico. Se sugiere hacer un estudio de integración a red.
- 5.2.5 Existen fondos locales e internacionales que financian proyectos para promover las energías limpias, entre ellas, la solar fotovoltaica. Se sugiere realizar un estudio de factibilidad considerando diversos escenarios de apalancamientos en función de la tasa de interés preferencial dada por estos fondos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. *CDM in Latin America and the Caribbean. October 13-15 2010. Santo Domingo. . Organizado por: UNEP, UNEP RIZO CENTRE CD4CDM, OLADE, IETA, UNTAC, IDB, The World Bank.* Santo Domingo : s.n., 2010.
2. **Country Position on Climate Change: The road to Copenhagen 2009. Presidency of the Dominican Republic. National Council on Climate Change and Clean Developing Mechanism. Lic. Omar Ramírez Tejada, Secretario de Estado, Vicepresidente Ejecutivo. 2009. Country Position on Climate Change: The road to Copenhagen 2009. Presidency of the Dominican Republic. National Council on Climate Change and Clean Developing Mechanism.** 2009.
3. *NAMAS and The Carbon Market.* UNEP, RISO CENTRE. 2009.
4. **Desarrollado por el Consejo Nacional para el Cambio Climático y Mecanismo de Desarrollo Limpio (CNCCMDL), la Oficina Nacional de MDL (ONMDL) y la Agencia de Cooperación Internacional Japonesa (JICA).** *Estudio para la Promoción de Proyectos MDL en la República Dominicana.* Santo Domingo : s.n., 2010.
5. **Martin A. Green¹, Keith Emery, Yoshihiro Hishikawa and Wilhelm Warta.** *Solar cell efficiency tables (version 36).* 2011. RESEARCH: SHORT COMMUNICATION.
6. **IMEC, Schott Solar, Total Photovoltec, GDF-SUEZ, Solland Solar, Kaneka y Dow Corning.** Celda Silicio Interdigitada (IBC). <http://www.electroiq.com/articles/pvw/>. [En línea] 1 de Diciembre de 2011. [Citado el: 05 de Diciembre de 2011.]
7. **3D Silicon Solar Cell Aims For 25 Efficiency.** www.electroiq.com/articles/pvw/2012/01/. [En línea] 2011. [Citado el: 03 de 01 de 2012.]
8. **Yingli Solar.** Data Sheet YGE240 Series. www.yinglisolar.com. [En línea] Yingli Solar, 2001. [Citado el: 25 de Enero de 2012.]
9. **BP Solar.** Boletin Tecnico Panel Policristalino. www.bpsolar.com. [En línea] [Citado el: 25 de Enero de 2012.]
10. **Risen Energy.** Boletin Tecnico Panel Policristalino. www.risenenergy.com. [En línea] Risen Energy, Enero de 2011. [Citado el: 25 de Enero de 2012.]
11. **Kyocera.** Boletin Tecnico Panel Policristalino. www.kyocerasolar.com. [En línea] kyocera. [Citado el: 25 de Enero de 2012.]
12. **Canadian Solar.** Data Sheet CS5P 215/220/225/230/235/240P. www.canadiansolar.com. [En línea] Canadian Solar, 2011. [Citado el: 25 de 01 de 2012.]
13. **al., D.E. Carlson et.** *Appl. Phys.* 1976. p. 671. Lett. 28.
14. **al., J. Yant et.** *Appl. Phys.* 1997. p. 2977. Lett. 70.
15. **Staebler, D. L.** *Appl. Phys.* 1977. p. 292. Lett. 31.
16. **Madan, A.** *Appl. Phys.* 1980. p. 826. Lett. 37.

17. *Proc. 15th IEEE PV Spec.* **Tawada, Y.** 1981. 245.
18. *Proc. 16th IEEE PV Spec.* **Catalano, A.** 1982. 2413.
19. —. **Tsuda, S.** 1985. 1295.
20. **Nakano, S.** *App. Phys.* 1986. p. 267. A41.
21. *Proc. 19th IEEE PV Spec.* **Catalano, A.** 1987. 1506.
22. *Techn. Dig PVSEC-3.* **Hattori, Y.** 1987. 171.
23. *Proc. Of 11th EC PVSEC.* **Miyadchi, K.** Montreux : s.n., 1992. p. 88.
24. *Accelerated Ageing of Seven Different Thin-Film Module Types by Sequential Exposure to Damp Heat or Damp Heat with either Additional Applied Voltage or Ultraviolet Ligh.* **Skoczek A., Field M., Köhl M., Geyer D.** Hamburg : s.n., 2009. 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 21-25 September . pp. 3241 - 3247.
25. **China Solar.** Datos Tecnicos Silicio Amorfo. *www.china-solar.com.* [En línea] 2011. [Citado el: 24 de Enero de 2012.]
26. **Xunlight.** Product Data Sheet XR Solar Laminate Series. *www.xunlight.com.* [En línea] Xunlight, Junio de 2011. [Citado el: 25 de Enero de 2012.]
27. **Amelio Solar.** Boletin Tecnico Panel Amelio Solar A-40. *www.ameliosolar.com.* [Online] Amelio Solar. [Cited: Enero 25, 2012.]
28. **Kaneka.** Boletin Tecnico Panel Policristalino. *www.kaneca.com.* [En línea] 2009. [Citado el: 25 de Enero de 2012.]
29. **Sencera.** 100 Solar Panel. *www.sencera.com.* [En línea] Sencera. [Citado el: 24 de Enero de 2012.]
30. **L. L. kazmerski, F. R White y G. K. Morgan.** *Applied Physics Letters.* 1976. p. 268. Ciemat, p.5.29 [13].
31. **Karg, F. H.** *Solar Energy Materials and Solar Cells.* 2001. pp. 645-653. Ciemat, p5.29 [14].
32. **M. A. Contreras, B. Egaas, K. Ramanathan, J. Hiltner, A. Swartzlander, F. Hasoon y R. Noufi.** *Progresss in Photovoltaics.* 1999. pp. 311-316. Ciemat, p.5.29 [15].
33. **CIEMAT.** *Fundamentos, Dimensionados y Aplicaciones de la Energia Solar Fotovoltaica.* Madrid : CIEMAT, 2007. p. 5.26.
34. **Solibro.** Cigs Thin Film PV Tech Reaches 17.4% Efficiency. *www.electroiq.com/articles/pvw.* [En línea] 29 de Diciembre de 2011. [Citado el: 5 de Diciembre de 2011.]
35. *Proceedings of the 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference.* **X. Wu, J.C. Keeane, R. G. Dhere, C. DeHart, A. Duda, T. A. Gessert, S. Asher, D. H. Levi y P. Sheldon.** Munich : s.n., 2001. pp. 995-1000.
36. **CIEMAT.** *Fundamentos, Dimensionados y Aplicaciones de la Energia Solar Fotovoltaica.* Madrid : CIEMAT, 2007. p. 5.22. Vol. I.

37. *A 26.8% Efficient Concentrator Point-Contact Cell*. **Verlinden, P. J.** Niza : s.n., 1995. Ciemat, p.6.25 [25].
38. *1300 sun GaAs Concentrator Solar Cell with Efficiency over 23%*. **Maroto, J. C.** Niza : s.n., 1995. pp. 343-348. Ciemat, p.6.25 [26].
39. **Green, M. A.** *Progress in Photovoltaics research and applications*. 1995. pp. 51-55. Vol. 3. Ciemat, p. 6.25 [27].
40. HCPV Trends Gaas Challenges Ge Utility Scales Projects in Pipeline. *www.electroiq.com/articles/pvw*. [En línea] 9 de 11 de 2011. [Citado el: 15 de 11 de 2011.]
41. **Solfocus**. SolFocus Announces Leading 25% Efficient Concentrator PV (CPV) Systems. *http://www.solfocus.com/en/news-events/press-releases/2008-11-13.php*. [Online] 11 13, 2008. [Cited: 11 20, 2011.]
42. **Urbina, Gabriel Baca**. *Evaluacion de Proyectos*. 3ra. Mexico : s.n., 1995.
43. EPA's Emissions & Generation Resource Integrated Database (eGRID 2005). *www.co2benchmark.com/EPA-calculations-and-conversions*. [En línea] 2005.
44. **Banco Central de la Republica Dominicana**. Precios IPC. *www.bancentral.gov.do/estadisticas_economicas/precios/ipc.xls*. [En línea] Banco Central, 2010. [Citado el: 15 de 12 de 2011.]
45. Country Default Spreads and Risk Premiums. *www.pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/ctryprem.html*. [En línea] (Aswath Damodaran), Diciembre de 2011.
46. The US Inflation Rate-2011. *www.tradingeconomics.com/interest-rates-list-by-country*. [En línea] 2011. [Citado el: 10 de Diciembre de 2011.]
47. Cotizaciones Tasa de Interes. *www.portfoliopersonal.com/Tasa_Interes/hTB_TIR.asp*. [En línea] Portfoliio Personal, Diciembre de 2011. [Citado el: 28 de Diciembre de 2011.]
48. Trading Market Prices. *www.nasdaqomxcommodities.com/trading/marketprices*. [En línea] [Citado el: 28 de Diciembre de 2011.]
49. **Skoczek A., Field M., Köhl M., Geyer D.** 2009.
50. **Jutglar, Lluís**. *Energia Solar*. Barcelona : CEAC, 2004.
51. *Estudio de alcance, evaluación y oportunidades del sector MDL en Honduras*. PNUD. 2010.
52. *Alianza Estratégica con la República Dominicana 2010-2013*. Grupo Banco Mundial República Dominicana. 2009.
53. *Clean Development Mechanism. Executive Board Annual Report 2009. United Nations Framework Convention on Climate Change*. 2009.

54. **Miriam Hinostroza y Colaboradores.** *Guía básica para el Programa de Actividades bajo el MDL. Proyecto CD4CDM.* 2009.
55. *Portafolio de Proyectos del Mecanismo de Desarrollo Limpio en República Dominicana. Presidencia de la República. Consejo Nacional para el Cambio Climático y Mecanismo de Desarrollo Limpio.* 2010.
56. **Hinostroza, Miriam.** *Facilitating Access to the Carbon Market. UNEP RISO CENTRE. Proyectos de Carbono. Experiencia Más .* 2010.
57. *Presidencia de la República. Consejo Nacional para el Cambio Climático y Mecanismo de Desarrollo Limpio. Memorias Septiembre 2008- Septiembre 2010.* 2010.
58. **Baker Paul Curnow, Glenn Hodes.** *Implementing CDM Projects. Guide Book to Host Country Legal Issues. UNEO.* 2009.
59. **Secretaría de Industria y Comercio.** hidrocarburos Precios Internacionales del Crudo. /www.seic.gov.do. [En línea] 2010. [Citado el: 05 de Diciembre de 2011.]
60. **Duffie, J.A, Beckman, W.A.** *Solar Engineering of Thermal Proceses.* s.l. : 3ra Edicion, 2006.
61. **Leland, B., Tarquin, A.** *Ingenieria Economica.* Bogotá : 2da Edición, 1985.