

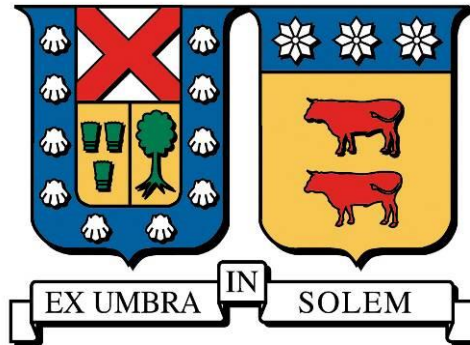
**UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“ANÁLISIS DE RIESGO DE INVERSIÓN  
UTILIZANDO MÉTODOS ESTOCÁSTICOS EN  
LA IMPLEMENTACIÓN DE PANELES  
FOTOVOLTAICOS EN EL RETAIL”**

**Carlos Eduardo Ruiz Retamales**

**MAGISTER EN ECONOMIA ENERGETICA**

**2015**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“ANÁLISIS DE RIESGO DE INVERSIÓN  
UTILIZANDO MÉTODOS ESTOCÁSTICOS EN  
LA IMPLEMENTACIÓN DE PANELES  
FOTOVOLTAICOS EN EL RETAIL”**

Tesina de grado presentada por

**Carlos Eduardo Ruiz Retamales**

como requisito parcial para optar al grado de

**Magister en Economía Energética**

Profesor Guía  
Dr. Ing. Alejandro Sáez Carreño

Profesor Correferente  
MBA Ing. Elio Cuneo Hervieux

Agosto 2015

TITULO DE LA TESINA:

**ANÁLISIS DE RIESGO DE INVERSIÓN UTILIZANDO MÉTODOS ESTOCÁSTICOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS EN EL RETAIL**

AUTOR:

**Carlos Eduardo Ruiz Retamales**

TRABAJO DE TESINA, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos para el Grado de Magíster en Economía Energética del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Dr. Ing. Alejandro Sáez Carreño.....

MBA Ing. Elio Cuneo Hervieux.....

Santiago, Chile. Agosto de 2015

## **DEDICATORIA**

*A mi esposa ROMINA*

*A mi hija GABRIELA*

*Por su apoyo incondicional para realizar este MEE*

*Carlos Ruiz Retamales*

## RESUMEN

Este trabajo busca determinar, el nivel de riesgo de la implementación de paneles fotovoltaicos en las cubiertas de supermercados en Santiago de Chile. Mediante el uso de herramientas estocásticas, se analiza el comportamiento futuro de las variables que influyen en la rentabilidad de este tipo de proyectos.

La evaluación se realiza tomando como caso el supermercado Lider de Walmart Chile, ubicado en Avenida Departamental con Américo Vespucio, y considerando una potencia instalada de 600 kWp, para fines de auto-abastecimiento. Se cotiza el proyecto a tres empresas del rubro, ofreciendo distintos modelos de negocios. Así, la Empresa 1, considera un modelo de negocio del tipo Ingeniería, Compras, Construcción (sigla en inglés EPC) que involucra también la Operación y Mantenimiento de la planta (sigla en inglés O&M) a un costo fijo anual. La Empresa 2, considera también un modelo EPC, ofreciendo también la O&M, pero a costo variable, cuyo monto depende de la generación; además se garantiza un nivel mínimo de generación, compensando un nivel menor. Por último, la Empresa 3 considera un modelo Power Purchase Agreement (PPA), en donde el cliente solamente facilita la cubierta del edificio, y compra la energía a un precio menor respecto de la distribuidora.

Las variables estocásticas consideradas son la radiación solar, el precio del dólar y energía, y la degradación propia de los paneles; las cuales constituyeron la base para realizar la evaluación económica, con el fin de obtener un VAN y TIR dentro de un intervalo de confianza asociado a una cierta probabilidad.

Se concluye que la inversión es la principal razón para determinar la rentabilidad de un proyecto. Del mismo modo, es relevante el tipo de tecnología a utilizar, a favor de obtener un mayor ingreso por concepto de generación. Finalmente, la TIR fluctúa entre un 3,8% y 11,8% con un 90% de probabilidad; denotando la incertidumbre que resulta realizar la inversión, producto de variables exógenas y la tecnología asociada.

## ABSTRACT

This research seeks determine the level of risk of the implementation of photovoltaic panels on the roofs of supermarkets in Santiago of Chile. Using stochastic tools, the future behavior of the variables that influence the profitability of such projects is analyzed.

The evaluation is made considering as an example the Lider supermarket of Walmart Chile located on the intersection of Departmental Avenue and Américo Vespucio Avenue, and considering an installed capacity of 600 kWp, for purposes of self-sufficiency. The project was valued for three companies of sector, offering various business models. The first company, offer a business model Engineering, Procurement, Construction (EPC) which also involves the operation and maintenance of the plant (O&M) at an annual fixed cost. The second company also offer a model EPC, and offer the O&M too, but the cost is variable, the amount of which depends on the generation; further a generation minimum is guaranteed, compensating a lower level. Finally, the third company considers a Power Purchase Agreement model (PPA), where the customer only facilitates the roof of supermarket, and buy the energy at a lower price with respect to the distributor. The considered stochastic variables are solar radiation, the dollar and energy price, and self-degradation of the panels; these formed the basis for the economic evaluation, in order to obtain a Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR) within a confidence interval associated with a certain probability. It is concluded that the investment is the main reason to determine the profitability of a project. Similarly, it is relevant to the type of technology to be used, please obtain a greater income from generation. Finally, the IRR ranges between 3.8% and 11.8% with 90% probability; denoting the uncertainty that is making the investment as a result of exogenous variables and associated technology.

## GLOSARIO:

|                        |                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CIS                    | : Cobre, Indio, Selenio                                                                                                                                                                                                |
| CNE                    | : Comisión Nacional de Energía                                                                                                                                                                                         |
| CV                     | : Coeficiente de variación. $CV = \frac{Desv\ Estandar}{ Media }$                                                                                                                                                      |
| Eficiencia de un PFV   | : Es el porcentaje de potencia convertida en energía eléctrica de la luz solar total absorbida por un panel, cuando una célula solar está conectada a un circuito eléctrico                                            |
| EPC                    | : Sigla en inglés que significa Ingeniería, Compra y Construcción (Engineering, Procurement, Construction).                                                                                                            |
| Incertidumbre          | : La incertidumbre es una cantidad que permite asignar un cierto grado de confianza al resultado de una medida y determinar la probabilidad de que el resultado de la medida esté más o menos cerca del valor buscado. |
| Intervalo de confianza | : Par de números entre los cuales se estima que estará cierto valor desconocido con una determinada probabilidad de acierto                                                                                            |
| IPC                    | : Índice de precios al consumidor                                                                                                                                                                                      |
| Irradiación solar      | : Energía producida por la radiación electromagnética por unidad de superficie en un tiempo determinado ( $Wh/m^2$ )                                                                                                   |
| Irradiación directa    | : Irradiación de forma directa del sol sin otras aportaciones por reflexión de ningún tipo, sobre una superficie por unidad de área.                                                                                   |
| Irradiación difusa     | : Irradiación que atraviesa la atmósfera que es reflejada por las nubes o absorbida por éstas.                                                                                                                         |
| GHI                    | : Irradiación global horizontal. Suma de la irradiación difusa y directa.                                                                                                                                              |

|                       |                                                                                                      |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| k                     | : Unidad de kilos                                                                                    |
| M                     | : Unidad en megas                                                                                    |
| O&M                   | : Sigla en inglés que significa Operación y Mantenimiento (Operation and Maintenance)                |
| PFV                   | : Panel fotovoltaico                                                                                 |
| Radiación solar       | : Conjunto de radiaciones electromagnéticas por unidad de superficie emitidas por el Sol ( $W/m^2$ ) |
| Rendimiento de un PFV | : Eficacia energética del PFV                                                                        |
| Riesgo                | : Combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas          |
| SIC                   | : Sistema interconectado central                                                                     |
| SING                  | : Sistema interconectado del Norte Grande                                                            |
| STC                   | : Condiciones estándares. Temperatura 25°C, Radiación de 1000 $W/m^2$                                |
| TIR                   | : Tasa Interna de Retorno                                                                            |
| VA                    | : Potencia eléctrica aparente.                                                                       |
| VAN                   | : Valor Actual Neto                                                                                  |
| Wp                    | : Potencia pico o máxima entregada por un panel fotovoltaico en algún instante                       |
| W                     | : Unidad de potencia (Watt)                                                                          |

## Contenido

|                                                                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMEN</b> .....                                                                                            | <b>1</b>  |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                                                                           | <b>2</b>  |
| <b>GLOSARIO:</b> .....                                                                                          | <b>3</b>  |
| <b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....                                                                                     | <b>7</b>  |
| <b>2 OBJETIVOS</b> .....                                                                                        | <b>10</b> |
| 2.1 OBJETIVO GENERAL.....                                                                                       | 10        |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                                                                 | 10        |
| <b>3 METODOLOGÍA</b> .....                                                                                      | <b>11</b> |
| 3.1 ESTADO DEL ARTE .....                                                                                       | 11        |
| 3.2 ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....                                                                              | 12        |
| 3.2.1 <i>Recurso solar</i> .....                                                                                | 16        |
| 3.3 PROPUESTAS DE EMPRESAS.....                                                                                 | 20        |
| 3.3.1 <i>Propuesta EPC, costo de O&amp;M fijo</i> .....                                                         | 20        |
| 3.3.2 <i>Propuesta EPC, costo de O&amp;M variable</i> .....                                                     | 22        |
| 3.3.3 <i>Propuesta PPA</i> .....                                                                                | 25        |
| <b>4 ANALISIS DE RIESGOS DE LA PROPUESTA DE LAS DISTINTAS EMPRESAS</b> .....                                    | <b>25</b> |
| 4.1 PROPUESTA EPC, COSTO DE O&M FIJO.....                                                                       | 26        |
| 4.1.1 <i>Análisis FODA</i> .....                                                                                | 27        |
| 4.1.2 <i>Análisis de riesgos asociados a esta propuesta</i> .....                                               | 28        |
| 4.2 PROPUESTA EPC, COSTO DE O&M VARIABLE .....                                                                  | 29        |
| 4.2.1 <i>Análisis FODA</i> .....                                                                                | 29        |
| 4.2.2 <i>Análisis de riesgos asociados a esta propuesta</i> .....                                               | 30        |
| 4.3 PROPUESTA PPA.....                                                                                          | 31        |
| 4.3.1 <i>Análisis FODA</i> .....                                                                                | 31        |
| <b>5 CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO</b> .....                                                                        | <b>34</b> |
| 5.1 PRECIO REGULADO DE LA ENERGÍA DE DISTRIBUCIÓN.....                                                          | 35        |
| 5.2 IRRADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL .....                                                                         | 42        |
| 5.3 DEGRADACIÓN Y COEFICIENTE DE RENDIMIENTO.....                                                               | 43        |
| 5.3.1 <i>Coefficiente de Rendimiento (Performance ratio)</i> .....                                              | 43        |
| 5.3.2 <i>Degradación</i> .....                                                                                  | 47        |
| 5.4 ENERGÍA MÍNIMA DE GENERACIÓN (kWh/Año) E INDICE DE COSTO DE MANTENIMIENTO Y<br>OPERACIÓN (USD/kWh/MES)..... | 53        |
| 5.5 PRECIO DEL DOLAR.....                                                                                       | 53        |
| <b>6 ANALISIS CUALITATIVO</b> .....                                                                             | <b>58</b> |
| 6.1 BENEFICIOS AL MEDIO AMBIENTE.....                                                                           | 58        |
| 6.1.1 <i>BENEFICIOS A LA IMAGEN DEL CLIENTE</i> .....                                                           | 60        |

|           |                                                               |            |
|-----------|---------------------------------------------------------------|------------|
| 6.1.2     | <i>BENEFICIOS SOBRE LA AISLACIÓN TÉRMICA DEL SUPERMERCADO</i> | 64         |
| <b>7</b>  | <b>ANÁLISIS DE DATOS</b>                                      | <b>67</b>  |
| 7.1       | AHORROS Y PROYECCIÓN DEL CONSUMO                              | 67         |
| 7.2       | ANÁLISIS DE SIMULACIÓN                                        | 68         |
| 7.2.1     | <i>Consideraciones previas</i>                                | 68         |
| 7.2.2     | <i>Resultado de la simulación</i>                             | 72         |
| <b>8</b>  | <b>ANÁLISIS FINANCIERO</b>                                    | <b>84</b>  |
| 8.1       | COSTOS                                                        | 85         |
| 8.2       | EVALUACIÓN DEL PROYECTO                                       | 85         |
| 8.3       | ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD                                      | 94         |
| <b>9</b>  | <b>CONCLUSIONES</b>                                           | <b>106</b> |
| <b>10</b> | <b>BIBLIOGRAFÍA</b>                                           | <b>109</b> |

## 1 INTRODUCCIÓN

**Wal-Mart Stores, Inc.** (de aquí en adelante Walmart) es una corporación multinacional de origen estadounidense, que opera cadenas de supermercados de variados tamaños y variados clientes en diferentes países. Wal-Mart continúa siendo una empresa familiar, porque es controlada por la familia Walton, que posee una participación del 48% en Walmart. Es también una de las empresas más valiosas en el mundo.

La empresa fue fundada por Sam Walton en 1962, y ha cotizado públicamente en la Bolsa de Nueva York desde 1972.

Walmart tiene 8.500 tiendas en 15 países, con 55 nombres diferentes. La empresa opera con la marca Walmart en los Estados Unidos, incluyendo los 50 estados, y Puerto Rico. Opera en México como Walmex, en Europa (Reino Unido) como Asda, en Japón como Seiyu, y en India como Best Price. Tiene operaciones de propiedad total en Argentina, Brasil, y Canadá. Además cuenta con presencia comercial en otros países de América (Chile, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua) y Asia (China).

En Chile, Walmart Chile es uno de los principales actores en la industria de las ventas al por menor o "retail" en Chile. Su principal actividad es la venta de alimentos y mercaderías en general en supermercados, la que desarrolla a través de sus formatos Lider, Express, Lider.cl, Ekono, Súper Bodega Acuenta y Central Mayorista.

Walmart a nivel internacional llevó a cabo varios proyectos de energía solar como plan de sustentabilidad y conservación. Ha instalado más de 150 proyectos de generación de energía eléctrica en base a paneles fotovoltaicos en Estados Unidos y espera tener hasta 90 MW de capacidad a fines del año 2016.

Actualmente, la compañía cuenta con 62 MWp en paneles instalados en diferentes lugares de Estados Unidos, y también está innovando en celdas de combustible y turbinas de viento en algunos sitios. Con 4.522 tiendas en los EE.UU., espera contar con 1.000 ubicaciones de energía solar para el año 2020.

Algunos casos de éxito se muestran a continuación.



Figura 1.1. Proyecto Fotovoltaico, Walmart Cincinnati, Ohio. Potencia Instalada 585 kWp. Fuente: Solarcity



Figura 1.2. Proyecto fotovoltaico, Walmart Foothill Ranch, California. Potencia instalada 412 kWp. Fuente: Solarcity

Wal-Mart de México instaló un parque fotovoltaico que genera el 20% de la energía que consume su Bodega Aurrera ubicada en Convención en la Ciudad de Aguascalientes, tienda en la cual se colocaron 1,056 paneles solares. Este proyecto tiene una potencia instalada de 174 kWp, de acuerdo con datos de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), por parte de quien la compañía recibió un reconocimiento.

El éxito que ha tenido Walmart en EEUU para la implementación de paneles fotovoltaicos es digno de analizar. Es lógico pensar que facilidades del mercado eléctrico norteamericano y los costos de inversión permitan tal

implementación, sin embargo, la realidad chilena es de un país que recién está abriendo las puertas para el desarrollo de esta tecnología con las nuevas políticas energéticas.

La idea de implementar paneles fotovoltaicos en la cubierta de los supermercados de Walmart en Chile surge de lo anterior, por una parte, una política de sustentabilidad y eficiencia energética de la compañía y aprovechar el viento a favor que deslumbra esta tecnología.

Para lograr su implementación, se ha de conocer los riesgos asociados, estudiarlos y tenerlos en relevancia. Como Walmart posee supermercados a lo largo de todo Chile, la posición geográfica jugará un rol importante y su potencial de desarrollo es alto.

La práctica de la evaluación de proyectos mayoritariamente se realiza bajo supuestos de certidumbre, con dichos supuestos se pierde mucha información útil para la toma de decisiones, información que dado el estado del arte es bastante fácil de generar a partir de datos que muchas veces son públicos y con apoyo de tecnologías de información y softwares especializados de fácil acceso.

La incertidumbre del resultado hace que quien tome las decisiones se vea envuelto en una apuesta y por lo tanto deba minimizar los riesgos, basándose en las herramientas de las cuales pueda disponer entre ellas las probabilísticas y estocásticas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

El objetivo general de la presente Tesina es determinar mediante análisis de riesgo e incertidumbre si es conveniente realizar la inversión de paneles fotovoltaicos en una cadena de supermercados.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

2.2.1. Estudiar las variables cuantitativas que influyen en los resultados de rentabilidad del proyecto y darles un comportamiento no determinístico.

2.2.2. Estudiar los diferentes modelos de negocios y describir sus principales riesgos.

2.2.3. Realizar el análisis de flujo financiero usando un software de simulación estocástica mediante el método de Montecarlo.

2.2.4. Determinar un intervalo de confianza para la rentabilidad esperada del proyecto y analizar su comportamiento.

### **3 METODOLOGÍA**

#### **3.1 ESTADO DEL ARTE**

- a) Energía fotovoltaica domiciliaria en Chile. González Almendras, Nicolás. 2010. Universidad Técnica Federico Santa María.
- b) Análisis y desarrollo de la energía fotovoltaica. Muñoz Crisosto, Juan. 2010. Universidad Técnica Federico Santa María.
- c) Análisis de la energía solar fotovoltaica como una solución para el desarrollo de proyectos mineros. Meneses López, Cristián Andrés. Universidad Técnica Federico Santa María.
- d) Cálculo de un sistema solar fotovoltaico para la obtención de energía eléctrica aplicable a viviendas rurales. González Aguirre, Danny. 2011. Universidad Técnica Federico Santa María.
- e) Proyectos de instalaciones solares fotovoltaicas: dimensionado de instalaciones solares fotovoltaicas. Martínez Jiménez, Amador. Universidad Técnica Federico Santa María.
- f) Estudio de factores relevantes en la operación y mantenimiento de centrales fotovoltaicas de gran escala en el norte de Chile. Cubillos Alegría, Flavio Ariel. 2013. Universidad Federico Santa María.
- g) Desarrollo de una estrategia para la implementación de generación solar fotovoltaica (PV) distribuida en Santiago. Bucarey Oyarzún, Elio Edgardo. 2012. Magister Eficiencia Energética. Universidad Federico Santa María.

### 3.2 ANTECEDENTES DEL PROYECTO.

El proyecto a desarrollar es la instalación de paneles fotovoltaicos en el supermercado Lider ubicado en Av. Américo Vespucio 6325, La Florida, Santiago, perteneciente a la cadena Walmart. Sus coordenadas geográficas son 33° 30' 40.51" latitud sur y 70° 35' 31.02" longitud oeste

El inmueble cuenta con una superficie aproximada de 15.000 m<sup>2</sup> de cubierta, de esto, se estima que 10.000 m<sup>2</sup> podrían ser aprovechables.

La cubierta, según estimaciones estructurales, está diseñada para soportar 40 kg/m<sup>2</sup> y tiene una inclinación del 1%.

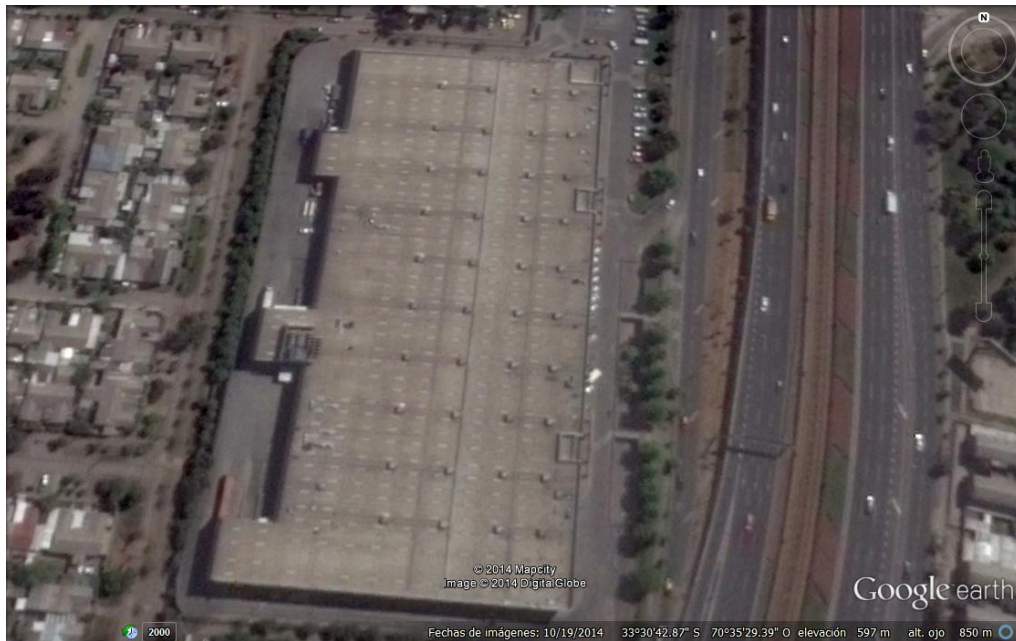


Figura 3.1. Vista aérea Supermercado Lider Departamental. Fuente. Google Earth.

Respecto a su instalación eléctrica, el supermercado cuenta con dos empalmes, uno por el pasaje Lago Pirihueico N° 6358 y la otra por la calle Américo Vespucio N° 6325.

El primero atiende cargas de equipos de clima, los cuales presentan cierta estacionalidad y en consecuencia, un bajo factor de carga.

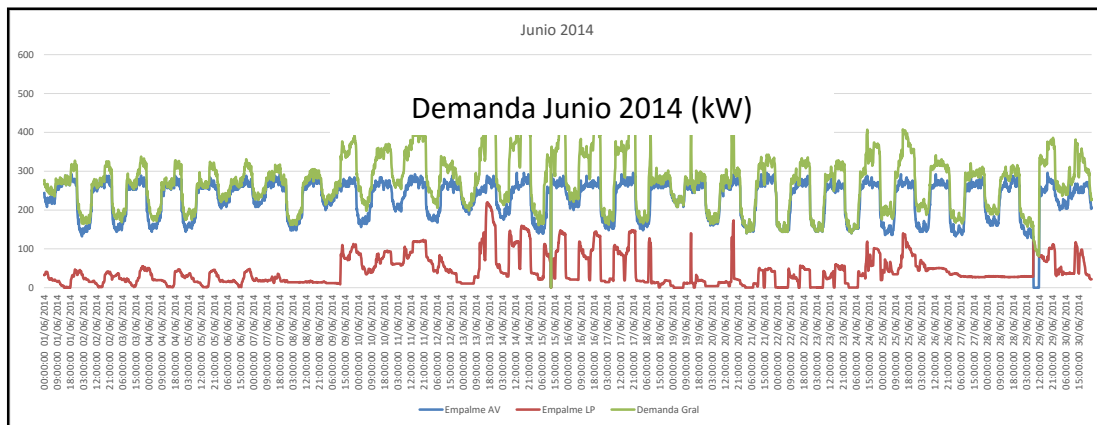


Gráfico 3.1. Demanda diaria junio 2014, supermercado Lider Departamental. Fuente propia.

El gráfico anterior muestra que en los meses de invierno, el empalme por Lago Pihueico (de aquí en adelante LP), asociado a la subestación de 500 kVA tiene poca carga y esporádica. No así el otro empalme por Américo Vespucio (de aquí en adelante AV), asociado a la subestación de 1000 kVA, tiene una carga con un comportamiento más constante.

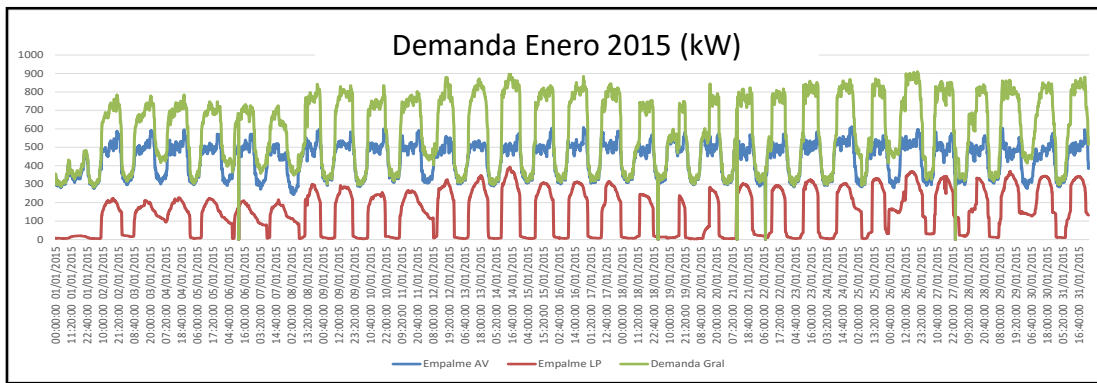


Gráfico 3.2. Demanda diaria enero 2015, supermercado Lider Departamental. Fuente propia.

Siguiendo el mismo análisis anterior, la demanda en el empalme por LP, en el mes de enero de este año, presenta un comportamiento constante, sin embargo, esta carga no es constante durante el día.

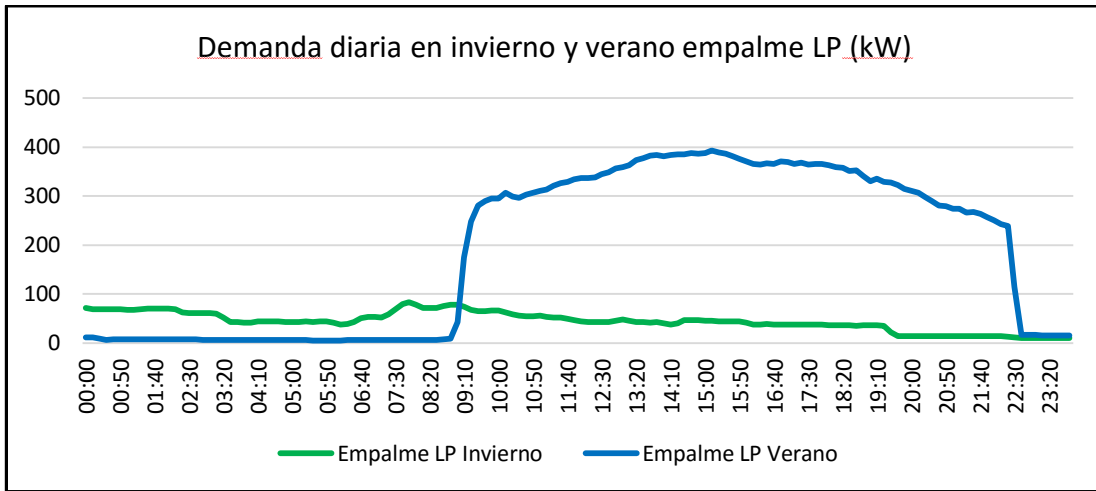


Gráfico 3.3. Demanda en un día cualquier durante invierno y verano empalme LP. Fuente propia

Efectivamente, el gráfico anterior muestra que la carga no es pareja en el día y muy distinta entre un mes de invierno y verano.

Por lo tanto, el proyecto se estudiará tomando como referencia el empalme por AV, cuya demanda en el día se muestra a continuación:

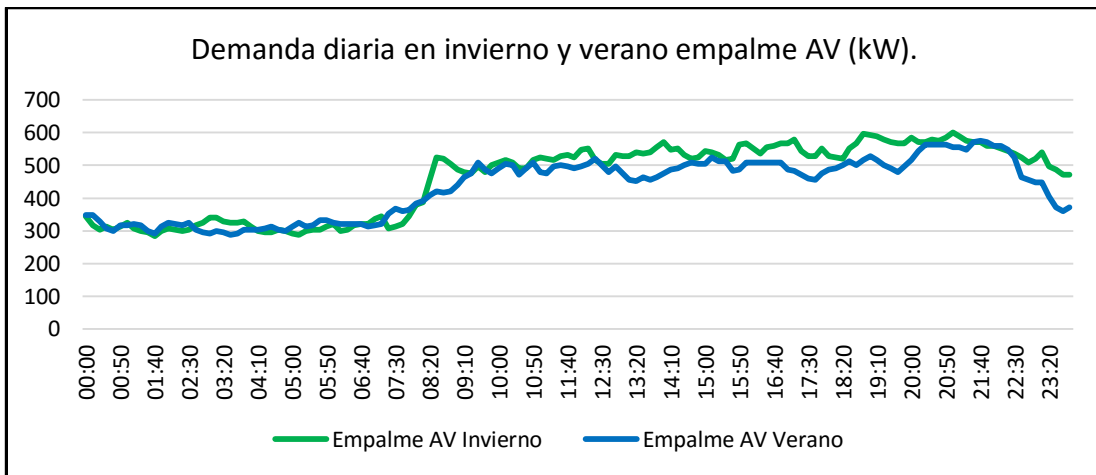


Gráfico 3.4. Demanda en un día cualquier durante invierno y verano empalme AV. Fuente propia.

Este empalme tiene una demanda estable, cuyos máximos se muestran a continuación:

| Fecha    | Demanda FP Leída (kW) | Demanda HP Leída (kW) |
|----------|-----------------------|-----------------------|
| 23-10-14 | 586                   | 585                   |
| 24-09-14 | 588                   | 576                   |
| 25-08-14 | 596                   | 574                   |
| 24-07-14 | 584                   | 584                   |
| 24-06-14 | 612                   | 612                   |
| 26-05-14 | 614                   | 606                   |
| 23-04-14 | 616                   | 611                   |
| 24-03-14 | 625                   | 618                   |
| 21-02-14 | 641                   | 612                   |
| 22-01-14 | 692                   | 632                   |
| 20-12-13 | 670                   | 615                   |
| 22-11-13 | 652                   | 585                   |
| 22-10-13 | 634                   | 593                   |
| 24-09-13 | 597                   | 581                   |
| 22-08-13 | 578                   | 578                   |
| 24-07-13 | 606                   | 606                   |
| 21-06-13 | 587                   | 573                   |
| 23-05-13 | 569                   | 556                   |
| 23-04-13 | 596                   | 546                   |
| 21-03-13 | 623                   | 591                   |
| 20-02-13 | 622                   | 600                   |
| 21-01-13 | 651                   | 608                   |

Tabla 3.1. Demandas máximas registradas en empalme por la calle Américo Vespucio. Fuente. Boletas de facturación Chilectra.

El comportamiento anual se puede visualizar de mejor manera en el siguiente gráfico:

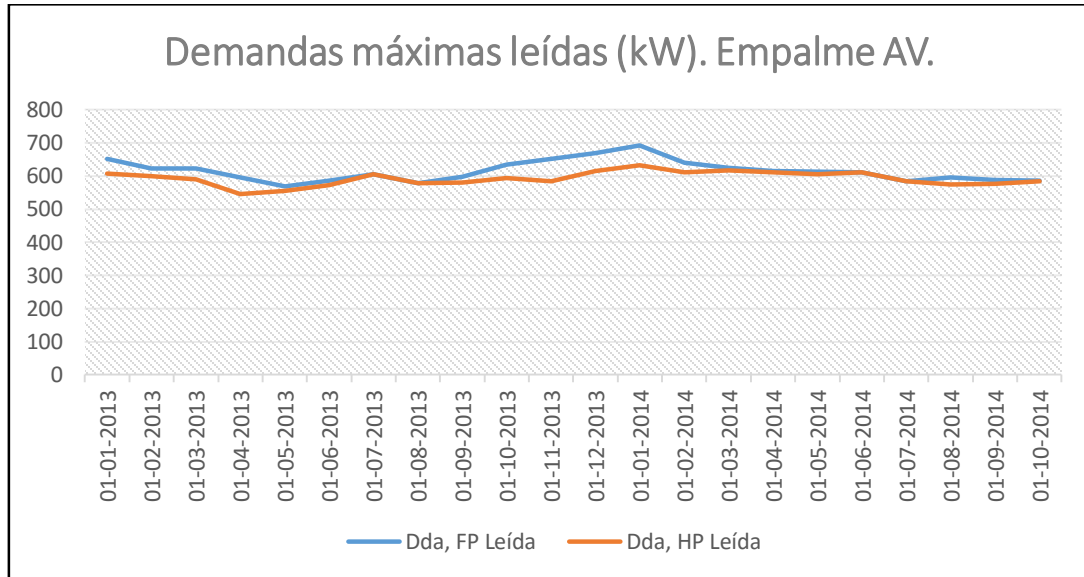


Gráfico 3.5. Demandas máximas leídas en hora de punta y fuera hora de punta en empalme AV. Fuente. Boletas de facturación Chilectra.

El gráfico anterior demuestra que la potencia a instalar en paneles fotovoltaicos efectivamente siempre estará por debajo de la potencia total demandada por el supermercado, por lo tanto, siempre será para autoconsumo y es así como se plantea el proyecto.

Por otra parte, también es importante indicar que el supermercado solo podrá ahorrar energía y no potencia, ya que las demandas son parejas y en invierno se presentan en horas que son ya de noche.

### 3.2.1 Recurso solar.

Chile cuenta con los índices de radiación solar más altos del mundo. Esta situación de privilegio reviste a los proyectos fotovoltaicos que se desarrollen en Chile de la posibilidad de generar energía al máximo potencial que otorgan los equipos. La radiación zona de emplazamiento donde se ubica el Hipermercado Lider de Departamental tiene una radiación solar elevada que de acuerdo al

programa SolarGIS<sup>1</sup> es de 2042 kW/m<sup>2</sup> anual.

| Ubicación / Desierto   | Radiación (W/m <sup>2</sup> ) | km <sup>2</sup> para generar 3 TW |
|------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Africa, Sahara         | 260                           | 144,2                             |
| Australia, Great Sandy | 265                           | 141,5                             |
| Medio oriente, Árabe   | 270                           | 138,9                             |
| Chile, Atacama         | 275                           | 136,4                             |
| EE.UU., Great Basin    | 220                           | 170,5                             |

Tabla 3.2. Radiación solar en distintos lugares del mundo. Fuente. J. Bishop y W. Rossow, Spatial and temporal variability of global surface solar irradiance, J. Geophys. Res. 96, 16839-16858 (1991). International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP).

La irradiación global horizontal anual en la zona de emplazamiento donde se ubica el Hipermercado Lider de Departamental es elevada que de acuerdo al programa SolarGIS es de 2042 kWh/m<sup>2</sup> anual.

| Mes | Irradiación global horizontal mensual (kWh/m <sup>2</sup> ) | Irradiación global horizontal diaria (kWh/m <sup>2</sup> ) | Irradiación global horizontal difusa diaria (kWh/m <sup>2</sup> ) | Temperatura ambiente diaria (°C) |
|-----|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Ene | 280                                                         | 9.03                                                       | 1.74                                                              | 19.8                             |
| Feb | 223                                                         | 7.98                                                       | 1.62                                                              | 19.5                             |
| Mar | 199                                                         | 6.43                                                       | 1.4                                                               | 18.4                             |
| Abr | 133                                                         | 4.43                                                       | 1.2                                                               | 15.2                             |
| May | 92                                                          | 2.98                                                       | 1.04                                                              | 10.4                             |
| Jun | 70                                                          | 2.32                                                       | 0.85                                                              | 8.3                              |
| Jul | 84                                                          | 2.72                                                       | 0.94                                                              | 6.9                              |
| Ago | 103                                                         | 3.31                                                       | 1.25                                                              | 8.3                              |
| Sep | 142                                                         | 4.72                                                       | 1.64                                                              | 10.3                             |
| Oct | 194                                                         | 6.25                                                       | 1.95                                                              | 12.8                             |
| Nov | 241                                                         | 8.03                                                       | 1.94                                                              | 15.9                             |
| Dic | 281                                                         | 9.05                                                       | 1.92                                                              | 18.6                             |
| AÑO | Σ = 2042                                                    | $\bar{x}$ = 5.59                                           | $\bar{x}$ = 1.46                                                  | $\bar{x}$ = 13.7                 |

Tabla 3.3. Irradiación global horizontal según Solar GIS. Fuente: SolarGIS

<sup>1</sup> SolarGIS: Programa de evaluación solarimétrica de la empresa Geomodel Solar.

De la misma manera, usando los datos entregados por el Explorador de Energía Solar del Ministerio de Energía, se pudieron rescatar los siguientes gráficos en la zona de emplazamiento del supermercado.

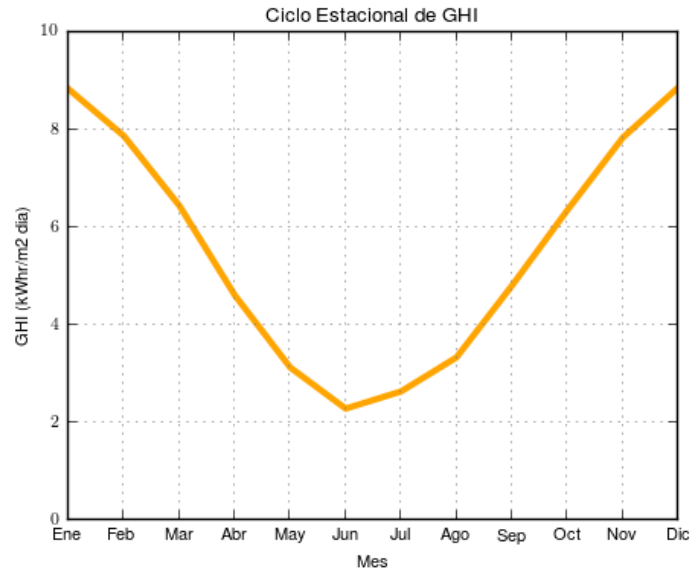


Gráfico 3.6. Irradiación horizontal global (GHI) anual en la zona de emplazamiento del supermercado. Fuente. Explorador de energía solar. Ministerio de Energía.

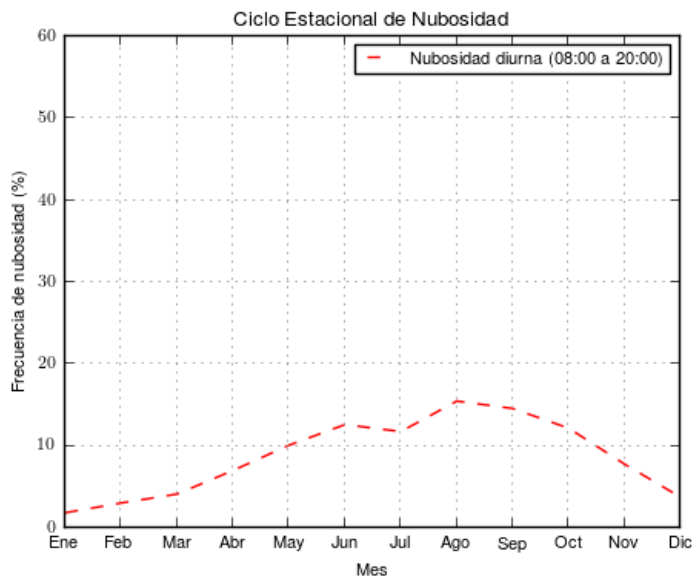


Gráfico 3.7. Ciclo estacional de nubosidad en zona de emplazamiento de supermercado. Fuente. Explorador de energía solar. Ministerio de Energía.

Estos dos gráficos muestran que, efectivamente, en los meses de invierno se produce una menor irradiación global horizontal y una mayor frecuencia en la nubosidad. Estos datos serán ingresados como variables de riesgo para la generación con paneles fotovoltaicos en los próximos capítulos.

La metodología utilizada para generar los gráficos anteriormente mostrados, depende de una base de datos y se basa en el uso de un modelo matemático de transferencia radiativa combinado con información de nubosidad inferida del satélite GOES EAST y observaciones locales<sup>2</sup>. La información entregada por el Explorador Solar permite realizar una evaluación preliminar del recurso solar en un determinado lugar de gran parte de Chile.

Ante este panorama, el proyecto considerará una potencia instalada en paneles fotovoltaicos de 600 kWp. Esto con el fin de tratar de cubrir la mayor demanda tanto en invierno como en verano que bordea este número. Tal como se dijo anteriormente, el proyecto solo considera la incorporación de esta tecnología para fines de autoconsumo. El objetivo de Walmart no va por el camino de vender energía a la compañía de distribución eléctrica.

Los paneles fotovoltaicos generan bajo cierto nivel de radiación solar, el cual se divide en radiación solar directa y radiación solar difusa.

---

<sup>2</sup> Ministerio de Energía, FCFM Universidad de Chile. <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar2/>

### 3.3 PROPUESTAS DE EMPRESAS

En este apartado se mostrarán las diferentes propuestas que hicieron varias empresas al proyecto. Por motivos de confidencialidad y permisos de publicación, los nombres de las empresas se mantendrán en reserva.

Es interesante mostrar que cada una de ellas, aparte de ofrecer la potencia fijada anteriormente, también ofrecieron distintos modelos de negocios que hacen aún más sugestivo el análisis de riesgo.

#### 3.3.1 Propuesta EPC, costo de O&M fijo.

El modelo de negocio de esta empresa (de aquí en adelante Empresa 1) considera que el cliente realiza toda la inversión y la empresa se encarga de la ingeniería, las compras y la construcción de la planta. También financia la futura operación y mantención del sistema a un costo fijo reajutable según el IPC.

La propuesta se desglosa de la siguiente manera:

|                              |                        |
|------------------------------|------------------------|
| <b>Tipo de estructura:</b>   | 388 soportes<br>bulnes |
| <b>Número de Inversores:</b> | 20 unidades            |
| <b>Número de Paneles:</b>    | 1.942 (315w c/u)       |
| <b>Área de cada panel</b>    | 1,984 m <sup>2</sup>   |
| <b>Área total:</b>           | 3.852 m <sup>2</sup>   |

Tabla 3.4. Propuesta técnica de paneles solares Empresa 1. Fuente. Empresa 1.

| Mes        | Producción Eléctrica mensual [kWh] | Producción Eléctrico específico mensual [kWh/kWp] | Producción Eléctrico específico diario [kWh/kWp] | Porcentaje mensual de prod. Eléctrica [%] | Rendimiento [%] |
|------------|------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------|
| Ene        | 124.353                            | 202,00                                            | 6,52                                             | 11,10                                     | 76,90           |
| Feb        | 109.408                            | 177,00                                            | 6,35                                             | 9,70                                      | 77,30           |
| Mar        | 112.299                            | 182,00                                            | 5,89                                             | 10,00                                     | 78,20           |
| Abr        | 87.699                             | 142,00                                            | 4,75                                             | 7,80                                      | 80,30           |
| May        | 69.802                             | 113,00                                            | 3,66                                             | 6,20                                      | 83,30           |
| Jun        | 56.396                             | 91,00                                             | 3,06                                             | 5,00                                      | 84,70           |
| Jul        | 67.096                             | 109,00                                            | 3,52                                             | 6,00                                      | 85,10           |
| Ago        | 71.340                             | 116,00                                            | 3,74                                             | 6,40                                      | 84,00           |
| Sep        | 86.100                             | 140,00                                            | 4,67                                             | 7,70                                      | 82,40           |
| Oct        | 102.336                            | 166,00                                            | 5,37                                             | 9,10                                      | 80,70           |
| Nov        | 112.852                            | 183,00                                            | 6,12                                             | 10,10                                     | 78,90           |
| Dic        | 122.508                            | 199,00                                            | 6,43                                             | 10,90                                     | 77,60           |
| <b>Año</b> | <b>1.122.191</b>                   | <b>1820,00</b>                                    | <b>5,00</b>                                      | <b>100,00</b>                             | <b>80,00</b>    |

Tabla 3.5. Detalle de producción simulada de energía Empresa 1. Fuente. Empresa 1.

Es interesante notar que el local anualmente consume aproximadamente 4.025.287 kWh, por lo tanto, los paneles solares cubrirían un 27,8 % de ese consumo.

| <b>MÓDULO FOTOVOLTAICO</b>        |                            |
|-----------------------------------|----------------------------|
| Modelo                            | JKM315PP                   |
| Fabricante                        | Jinko Solar. (China)       |
| Potencia máxima (Pmax)            | 315 Wp                     |
| Voltaje Máximo Pmax (Vmp)         | 37,2 V                     |
| Corriente máxima a Pmax (Imp)     | 8,48 A                     |
| Voltaje de circuito abierto (Voc) | 46,2 V                     |
| Corriente de Cortocircuito (Isc)  | 6,01 A                     |
| Eficiencia STC                    | 16,23%                     |
| Tolerancia                        | 0 ~ + 3 W                  |
| <b>INVERSOR</b>                   |                            |
| Modelo                            | Sunny Tripower 25000TL-30. |
| Fabricante                        | SMA Solar Technology AG    |

Tabla 3.6. Características eléctricas de módulo fotovoltaico bajo STC<sup>3</sup>. Fuente. Empresa 1.

### 3.3.2 Propuesta EPC, costo de O&M variable.

La propuesta de esta empresa (de aquí en adelante Empresa 2) considera que el cliente realiza toda la inversión y la empresa se encarga de la ingeniería, las compras y la construcción de la planta. También financia la futura operación y mantenimiento del sistema a un costo variable que depende de la energía que genere la plata. Para este fin, se fija un índice que será revisado anualmente. La propuesta actual considera un valor de 0,015 USD/kWh, con reajuste del IPC.

Además de lo anterior, se asegura una producción anual, es decir, se fija un número de energía generada anualmente, si la producción es menor a este último, el proveedor paga a precio de energía mensual la diferencia.

La producción presupuestada versus la producción garantizada se muestra en el siguiente gráfico.

<sup>3</sup> Valores en base a Condiciones Estándares de Prueba (STC) (masa de aire AM1,5, irradiación 1000W/m<sup>2</sup>, Temperatura de la celda 25°C)

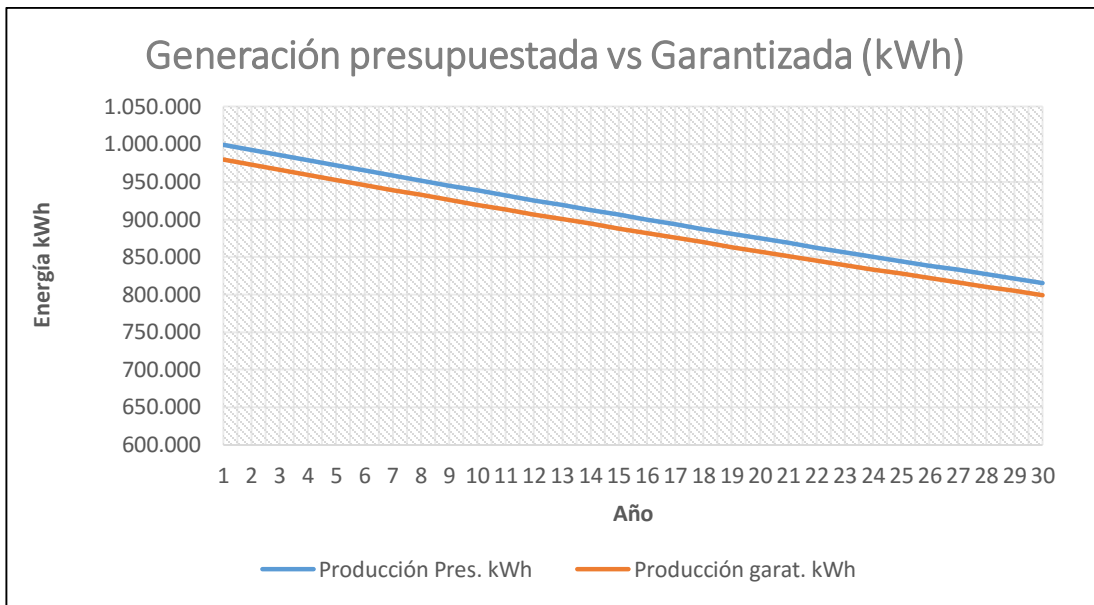


Gráfico 3.8. Generación presupuestada versus generación garantizada. Fuente. Empresa 2.

El primer año, se presupuesta una producción de 999.6000 kWh y se garantiza una producción de 979.608 kWh, equivalente al 98% del primero. Los años siguientes mantiene el mismo factor. La producción presupuestada y garantizada considera una pérdida anual de un 0,7% respecto al año anterior.

La propuesta se desglosa de la siguiente manera:

|                              |                      |
|------------------------------|----------------------|
| <b>Tipo de estructura</b>    | No especificado      |
| <b>Número de Inversores:</b> | 7                    |
| <b>Número de Paneles:</b>    | 3.528                |
| <b>Potencia c/panel</b>      | 170W                 |
| <b>Área panel</b>            | 1,228 m <sup>2</sup> |
| <b>Área total</b>            | 4.333 m <sup>2</sup> |

Tabla 3.7. Propuesta técnica de paneles solares Empresa 2. Fuente. Empresa 2.

| Mes        | Prod. Eléctrico mensual [kWh] | Prod. Eléctrico específico mensual [kWh/kWp] | Prod. Eléctrico específico diario [kWh/kWp] | Porcentaje mensual de prod. Eléctrica [%] | Rendimiento [%] |
|------------|-------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------|
| Ene        | 129.650                       | 125.050                                      | 4.034                                       | 31,53%                                    | 87%             |
| Feb        | 109.250                       | 105.450                                      | 3.766                                       | 30,07%                                    | 89%             |
| Mar        | 100.700                       | 97.250                                       | 3.137                                       | 27,28%                                    | 90%             |
| Abr        | 69.750                        | 67.300                                       | 2.243                                       | 20,74%                                    | 91%             |
| May        | 48.850                        | 47.000                                       | 1.516                                       | 13,07%                                    | 92%             |
| Jun        | 37.800                        | 36.300                                       | 1.210                                       | 11,47%                                    | 92%             |
| Jul        | 46.450                        | 44.650                                       | 1.440                                       | 13,97%                                    | 92%             |
| Ago        | 59.750                        | 57.600                                       | 1.858                                       | 17,40%                                    | 92%             |
| Sep        | 76.700                        | 73.950                                       | 2.465                                       | 25,52%                                    | 91%             |
| Oct        | 104.000                       | 100.350                                      | 3.237                                       | 34,71%                                    | 90%             |
| Nov        | 120.500                       | 116.250                                      | 3.875                                       | 35,43%                                    | 88%             |
| Dic        | 132.700                       | 128.050                                      | 4.131                                       | 39,02%                                    | 87%             |
| <b>Año</b> | <b>1.036.100</b>              | <b>999.200</b>                               | <b>2.743</b>                                | <b>25,02%</b>                             | <b>90%</b>      |

Tabla 3.8. Detalle de producción simulada de energía Empresa 2. Fuente. Empresa 2.

| <b>MÓDULO FOTOVOLTAICO</b>        |                                 |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| Modelo                            | SF170-S                         |
| Fabricante                        | Solar Frontier K. K. (Japón)    |
| Potencia máxima (Pmax)            | 170 Wp                          |
| Voltaje Máximo Pmax (Vmp)         | 87,5 V                          |
| Corriente máxima a Pmax (Imp)     | 1,95 A                          |
| Voltaje de circuito abierto (Voc) | 50 V                            |
| Corriente de Cortocircuito (Isc)  | 2,20 A                          |
| Eficiencia STC                    | 13,80%                          |
| Tolerancia                        | 0 ~ + 5 W                       |
| <b>INVERSOR</b>                   |                                 |
| Modelo                            | AGILO 75.0-3 Outdoor            |
| Fabricante                        | Fronius International (Austria) |

Tabla 3.9. Características eléctricas de módulo fotovoltaico bajo STC. Fuente. Empresa 2.

### 3.3.3 Propuesta PPA.

Esta propuesta considera que el financiamiento es realizado por el proveedor. El supermercado en este caso solo dispone la cubierta para la instalación, beneficiándose de la compra de energía a menor costo en comparación a la distribuidora. Para esto se suscribe un contrato PPA por 25 años el cual considera un precio de energía siempre menor en un 10% respecto a la cobrada por la distribuidora. En este caso, la evaluación y riesgos financieros son parte del proveedor.

En aspectos técnicos, solo se informa que los paneles son del tipo policristalino.

En la presente Tesina se hará el análisis financiero desde el punto de vista del proveedor y se determinará y analizará su rentabilidad.

## **4 ANALISIS DE RIESGOS DE LA PROPUESTA DE LAS DISTINTAS EMPRESAS.**

En este capítulo se presentaran algunos de los riesgos e incertidumbres existentes en las diferentes propuestas.

Existirá incertidumbre cuando las probabilidades de ocurrencia de un evento no están cuantificadas. Las fuentes básicas de éstas son cuando la información es incompleta, inexacta, sesgada, falsa o contradictoria.

Existirá riesgo si los eventos que sucederán en el futuro no son determinísticos, sino que existe un grado de incerteza acerca de lo que sucederá. Esto es sólo parcial debido a la historia, la que nos permite conocer los resultados obtenidos anteriormente en alguna experiencia y nos sirve para estimar la probabilidad de que ocurra un evento específico sometido a iguales condiciones.

Es importante destacar que cada propuesta planteada reviste sus propios riesgos.

La matriz siguiente muestra en resumen el modelo de negocio de cada proponente.

### PROPUESTAS

| Tipo de financiamiento          | Empresa 1                                                                                | Empresa 2                                                                                                                  | Empresa 3                                                                     |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
|                                 | EPC, costo O&M fijo                                                                      | EPC, costo O&M variable.                                                                                                   | PPA                                                                           |
| <b>Financiamiento cliente</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>EPC</li> <li>O&amp;M, costo fijo anual</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>EPC</li> <li>O&amp;M. Fee "Full Service por kWh producido"</li> </ul>               | No se vislumbra algún tipo de financiamiento                                  |
| <b>Financiamiento proveedor</b> | No hay                                                                                   | No hay                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>EPC</li> <li>O&amp;M</li> </ul>        |
| <b>Ahorros observados</b>       | Energía generada con paneles solares se resta al consumo total                           | Se garantiza energía mínima generada con paneles solares y se resta al consumo total. Menor energía generada es compensada | Compra de energía al proveedor a menor precio que la distribuidora eléctrica. |

Tabla 4.1. Modelo de negocio presentado por distintas empresas. Fuente. Elaboración propia.

Para esclarecer el estudio, los siguientes sub capítulos analizarán cada caso en particular.

#### 4.1 PROPUESTA EPC, COSTO DE O&M FIJO.

Esta propuesta corresponde, tal como se mencionó en el capítulo anterior, a un financiamiento total por parte del cliente, en este caso, el supermercado. En el caso de la O&M, se realizaría contrato con la empresa suministradora de los paneles para que sean ellos mismos quienes monitoreen y mantengan el sistema. El mantenimiento como costo fijo es del tipo preventivo cada dos meses el que incluye ajustes del sistema eléctrico y limpieza de paneles. El mantenimiento correctivo se paga en forma aparte.

Es importante destacar que, ante este escenario, la oferta toma especial relevancia, tanto en aspectos técnicos como económicos.

Es conveniente realizar un análisis FODA, de la mirada del cliente, para decidir el mejor tipo de inversión. Esto permitirá, posteriormente, tener más claridad de los riesgos asociados a cada caso.

#### 4.1.1 Análisis FODA

##### a) Fortalezas.

- Una fortaleza esencial que tiene este tipo de inversión es que, al ser del propio cliente, éste último estará interesado en conservar la eficiencia del mismo, puesto que esto conlleva a una mayor generación eléctrica y se asegura que los retornos financieros se cumplan en los plazos estudiados.
- Por otra parte, la inversión y la continuidad de la instalación depende del cliente y no de terceros

##### b) Oportunidades

- Buscar mejores ofertas, es decir, el inversionista tiene la oportunidad de buscar en el mercado aquella oferta que le otorgue mejor precio y mejor calidad.
- Mejorar imagen corporativa, ya que supermercado está dispuesto a invertir en energía renovable no convencional como parte del compromiso a la sustentabilidad.

##### c) Debilidades

- Los riesgos de la inversión son asumidos totalmente por el supermercado.
- Que existan riesgos y que no hayan sido visualizados por el supermercado y que, posteriormente resulten relevantes.
- Algunas variables que influyen en el modelo de negocio no son controlables.
- La tasa interna de retorno no se garantiza

##### d) Amenazas

- Aumento de gastos operacionales debido a un mantenimiento más periódico.

- Inversión adicional durante el período debido a infortunios no previstos (terremotos, falla de componentes importantes, etc).

#### 4.1.2 Análisis de riesgos asociados a esta propuesta

Es importante considerar que hay riesgos e incertidumbres que van en directa relación con el tipo de financiamiento que se desea realizar, si bien es cierto, pueden ser los mismos, el impacto será distinto para el supermercado.

##### a) Riesgos cuantitativos.

- El precio de la energía es el principal factor relevante para determinar el retorno de inversión y la capacidad de ahorro del sistema. Entre mayor sea el precio, mayor beneficio tendrá haber implementado paneles solares; un menor precio, el beneficio será menor.
- Radiación Global Horizontal (kWh/m<sup>2</sup>). Es la cantidad de energía, que llega a una superficie en un tiempo determinado. Una radiación global horizontal solar baja, hará que el panel entregue menos energía. No así cuando la irradiancia es alta. Ahora, sin embargo, hay que hacer notar que el proyecto basa la energía generada en base a una simulación de la radiación global horizontal. Por lo tanto, el riesgo que existe es que, en la realidad, este valor sea más bajo de lo simulado.
- Frecuencia de nubosidad (%). Un factor relevante, y que afecta a la generación de energía del panel, es la frecuencia de nubosidad durante un día, mes o año. La nubosidad afecta a la radiación global horizontal y, en definitiva, a la generación eléctrica del panel solar.
- Suciedad: Si bien es cierto, durante la vida útil del proyecto se prevén mantenciones periódicas para limpiar los paneles, existe el riesgo de que haya una polución mayor a lo pronosticado, bajando la eficiencia de los paneles solares y aumentando los costos por mantención.
- Falla de elementos importantes: La única forma de reducir este riesgo es adquirir componentes de buena calidad, con trayectoria en el mercado. El riesgo es evidente, sobre todo si se trata de inversores, que son los

componentes de más alto valor. En los capítulos posteriores se mencionarán otras medidas para reducir este riesgo.

- Temperatura. Está comprobado que la eficiencia de los paneles solares disminuyen al aumentar la temperatura.

## **4.2 PROPUESTA EPC, COSTO DE O&M VARIABLE.**

Este tipo de financiamiento de la inversión considera que el supermercado realiza toda la inversión de la EPC. Para el costo de O&M, la empresa suministradora de los paneles solares cobrará un valor que dependerá de la energía generada.

La producción es garantizada con un mínimo de energía. Es decir, si durante un año se genera por debajo de una línea base de energía, el proveedor paga al supermercado la diferencia.

### **4.2.1 Análisis FODA**

#### **a) Fortalezas.**

- Una fortaleza importante que tiene este tipo de inversión es que, al garantizar un nivel de producción, la tasa interna de retorno se torna estable.
- Existe cierto incentivo a mantener el sistema en forma eficiente, ya que el pago por O&M dependerá de la energía generada.

#### **b) Oportunidades**

- Si bien es cierto, este tipo de financiamiento en Chile es escaso, podría crear un buen precedente para futuros negocios. De resultar bien, se podría extender a más supermercados de la misma cadena y mejorar las prestaciones.
- Al igual que el anterior, mejorar imagen corporativa, ya que supermercado está dispuesto a invertir en energía renovable no convencional como parte del compromiso a la sustentabilidad.

c) Debilidades

- Los riesgos de la inversión son asumidos por el supermercado.
- Que existan riesgos y que no hayan sido visualizados por el supermercado y que, posteriormente resulten relevantes.
- El modo de pago por parte del proveedor cuando se genera por debajo de la línea base no es del todo claro. Al ser un pago anual, hay un valor de energía que se debe fijar, y no necesariamente refleje las pérdidas por no generación.
- No es fácil llegar a un acuerdo en cuanto a la energía garantizada, esto hace que se prolongue la toma de decisión.
- Lo mismo ocurre con el precio por energía generada para el mantenimiento periódico.

d) Amenazas

- Aumento de gastos operacionales debido a un mantenimiento más periódico.
- Que no se respete el contrato por parte del proveedor.
- Insolvencia económica del proveedor de servicios.
- Inversión adicional durante el período debido a infortunios no previstos (terremotos, falla de componentes importantes, etc.).

4.2.2 Análisis de riesgos asociados a esta propuesta.

Aparte de los riesgos mencionados en el ítem 4.1.2., este tipo de inversión tiene un riesgo que no es cuantificable, y es el riesgo que la empresa proveedora, que posteriormente brindará el servicio de O&M, no tenga los incentivos suficientes para mantener el sistema en alta eficiencia. Esto ocurre porque el pago por este servicio dependerá de la energía generada, y esto no depende necesariamente del mantenimiento, sino como ya se sabe, de las condiciones

climáticas. En este aspecto, pudiese ocurrir que la empresa entre en un ciclo de insolvencia económica al no alcanzar a cubrir sus costos fijos.

a) Riesgos cuantitativos:

Los riesgos mencionados respecto a la Empresa 1 también inciden en esta propuesta. Pero también hay otros riesgos cuantitativos que son convenientes a indicar.

- Negociación por la energía mínima a generar: Este valor será fundamental para que en la realidad, se pueda asegurar una TIR.
- Negociación por el precio de mantenimiento y operación por energía generada (USD/kWh): Este valor tiene relevancia para establecer el precio final que se pagará por este servicio y que, posteriormente, impacta en el flujo financiero.

### **4.3 PROPUESTA PPA.**

En este caso, el supermercado aparentemente no realizaría ninguna inversión; toda la inversión sería realizada por el proveedor.

Tal como se dijo anteriormente, el proveedor cobraría un precio más bajo de energía que la cobrada por la distribuidora eléctrica. Lo ahorros del supermercado vendrían por la compra de energía a menor precio.

#### **4.3.1 Análisis FODA**

a) Fortalezas.

- El supermercado no asume el riesgo de toda la inversión.
- La mantención y operación del sistema es administrada por la empresa suministradora.

b) Oportunidades

- Con buenos contratos de precios de energía, se podría generar una especie de asociación estratégica para impulsar este tipo de tecnología.

- Al igual que el anterior, mejorar imagen corporativa, ya que supermercado está dispuesto a invertir en energía renovable no convencional como parte del compromiso a la sustentabilidad.
- c) Debilidades
- Dependiendo del supermercado, habría que hacer algún tipo de inversión respecto a la infraestructura. Esto no queda claro en los alcances del proyecto, ya que este solo considera la instalación de los paneles fotovoltaicos.
  - Las instalaciones sobre la cubierta del supermercado serían de propiedad de otra empresa, por lo tanto, deberá ser de libre acceso, ocasionando un problema de seguridad para el local, del cual es muy celoso.
  - El supermercado tendría que estar administrando tres pagos mensuales; el pago de electricidad por los dos empalmes y el pago por el consumo de energía de los paneles fotovoltaicos. Hay que ver las opciones de pago y como se realizará la medición de energía consumida.
  - Si Walmart, con la implementación en este supermercado con la empresa tres, decidiera instalar una planta en otro supermercado y realizara una licitación, esta tendría la primera opción. Esta obligación está en el contrato suscrito en el primer proyecto realizado. Esta situación resta ventajas competitivas y socava la alternativa de una mejor opción.
- d) Amenazas
- El precio de la energía es relevante, ya que el precio que cobra la empresa suministradora debe estar por debajo de lo que cobra la empresa distribuidora eléctrica. El precio de la energía se acuerda desde un comienzo y se mantiene a lo largo del período de evaluación. Suponiendo el caso que el precio de la distribuidora, en el futuro, esté por debajo de lo pactado con el proveedor, este último tendrá problemas de flujo financiero y tendrá altas probabilidades de quiebra, teniendo que desinstalar todo el

sistema, dando una muy mala imagen. Para evitar esto, el supermercado tendría que subvencionar parte de este valor, pagando un precio mayor, lo que aumentaría sus gastos, o bien, comprar la planta solar a valor residual.

- Que no se respete el contrato por parte del proveedor.
- Insolvencia económica del proveedor al no poder competir con el precio de la distribuidora de energía.

## 5 CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO.

El capítulo anterior fue muy importante ya que permitió analizar las diferentes propuestas desde el punto de vista de los beneficios y los riesgos.

Hay algunas variables que son de tipo cualitativas que podrían ser estudiadas desde el punto de vista no determinístico y que son transversales a las tres propuestas mostradas.

La siguiente tabla muestra las variables de entrada como factores de riesgos que se usarán en esta Tesina con un modelo no determinístico.

| Variable                                          | Empresa   |
|---------------------------------------------------|-----------|
| Precio de energía de la distribuidora (USD/kWh)   | Empresa 1 |
|                                                   | Empresa 2 |
|                                                   | Empresa 3 |
| Radiación Global Horizontal (kWh/m <sup>2</sup> ) | Empresa 1 |
|                                                   | Empresa 2 |
| Degradación del panel fotovoltaico                | Empresa 1 |
|                                                   | Empresa 2 |
| Precio del dólar (\$/USD)                         | Empresa 1 |
|                                                   | Empresa 2 |

Tabla 5.1. Variables de entrada según Empresas de financiamiento. Elaboración propia.

En los siguientes sub capítulos, se mostrarán los riesgos cuantificados y el modelo matemático considerado. Para todos los efectos, se considerarán datos mensuales, así se tendrá más claridad respecto al comportamiento del riesgo.

## 5.1 PRECIO REGULADO DE LA ENERGÍA DE DISTRIBUCIÓN.

Es una de las variables que incide en las tres propuestas. En los dos primeros, influye directamente en el ahorro proyectado y en definitiva, en la TIR del proyecto. En la tercera, incide ya que es una variable de riesgo para la empresa que financia. La energía de venta debe ir a un precio menor que la energía de la distribuidora.

$$P_{es} < P_{ed} \quad (5.1.1)$$

Donde

$P_{es}$ : Precio de la energía que vende el proveedor de paneles fotovoltaicos al supermercado

$P_{ed}$ : Precio de la energía que vende la distribuidora eléctrica.

La relación 5.1.1 es una condición obligatoria dentro del Empresa 3.

El precio futuro de la energía de las empresas distribuidoras es parte del gran debate en el mercado eléctrico. Algunos indican que a corto plazo habrá una disminución en los precios de licitación, por la incorporación de las ERNC en bloques, otros indican que esta baja se debe a los buenos precios actuales del petróleo y el carbón, pero que en el largo plazo los precios debieran subir nuevamente.

El precio regulado que paga el supermercado es el resultado de un proceso de licitación público del distribuidor, cuyo precio de compra (del distribuidor al generador) es el precio de nudo de largo plazo (de aquí en adelante LP) que nació con la promulgación de la Ley 20.018 de 2005, que pretendía reorganizar el sistema eléctrico de una forma más confiable.

Anteriormente, había un “precio de nudo” para abastecimiento de distribuidores, definido por el Comisión Nacional de Energía (CNE) en base a los costos marginales proyectados, el cual se convirtió en el “precio de nudo corto plazo” con la entrada en vigor de la Ley 20.018. Dado que algunos contratos con este “precio de nudo de corto plazo” quedan en vigencia, el costo que los

distribuidores traspasan a los clientes regulados hoy en día combina los precios de corto y largo plazo. Este precio para clientes es llamado precio de nudo promedio.

Tal como se dijo anteriormente, el supermercado tiene una tarifa AT4.3, por lo tanto, el valor de la energía corresponde a valores en Alta Tensión. Para observar el comportamiento de los valores de energía, se estudiaron los anteriores contratos adquiridos por Chilectra con los generadores y como estos se proyectan en el futuro. No es un objetivo de la presente tesina realizar un estudio exhaustivo de los precios futuros de la energía, ya que, como bien se sabe, comprende un análisis mucho más complejo en cual intervienen un sin número de otras variables. Sin embargo, considerando los precios de los contratos de la distribuidora y su vigencia, se considera una buena razón para dirigir hacia allá los precios.

Con la implementación de paneles fotovoltaicos, solo podrá ahorrar energía, por lo tanto, el precio de nudo promedio nos servirá para dichos valores, considerando aún más que el VAD (valor agregado de distribución) se aplica a la potencia y cargo fijo; para la energía se aplica el factor de expansión de pérdidas. Según el último informe de determinación del VAD, los factores de expansión de pérdidas anteriores y que aplicará hasta el 2016 son:

| 2010    | 2011    | 2012    | 2013    | 2014    | 2015    | 2016    |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| AT      | AT      | AT      | AT      | AT      | AT      | AT      |
| Energía | Energía | Energía | Energía | Energía | Energía | Energía |
| 1.0100  | 1.0105  | 1.0110  | 1.0115  | 1.0121  | 1.0127  | 1.0133  |

Tabla 5.2. Estudio de costos de componentes del valor agregado de distribución cuatrienio noviembre 2012 – noviembre 2016. Fuente. CNE.

Estos factores tienen una tendencia lineal, considerando al año 2010 como el índice 1, tal como se ve en la gráfica siguiente:

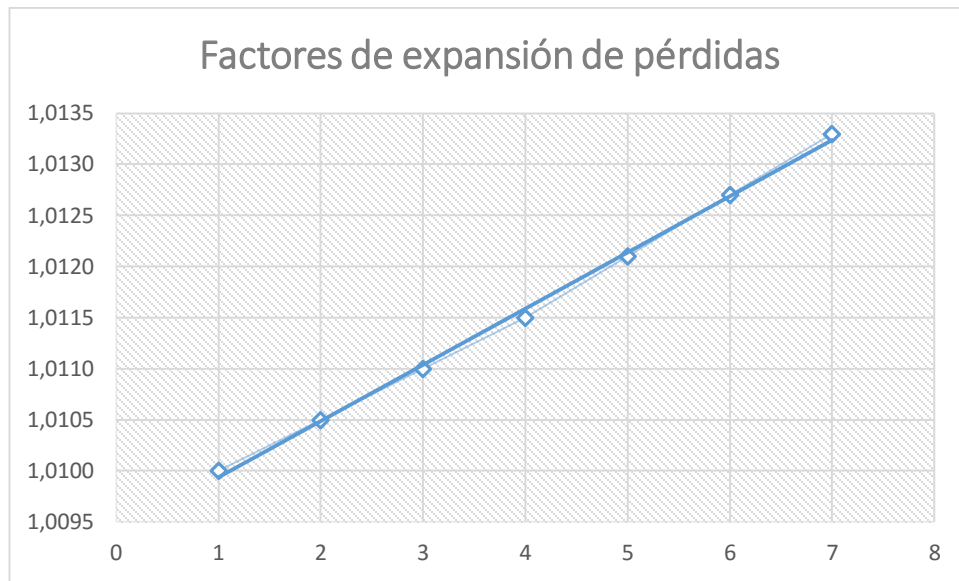


Gráfico 5.1. Factores de expansión de pérdidas Área Típica 1 período 2010 - 2016. Fuente. CNE

El ajuste lineal de estos datos, considerando ahora que el año 2015 es el índice 1 es:

$$FEP = 0,0005(j + 5) + 1,0094 \quad (5.1.2)$$

Donde:

*j*: Año

Los datos obtenidos según la fórmula anterior tienen un error de un 0,03%.

Por otra parte, para simular el comportamiento del precio de la energía, se tomarán los valores promedios de las licitaciones y se le aplicará, como modelo propuesto, una distribución normal cuya media muestral será la el promedio antes mencionado, su desviación estándar será la desviación estándar de las variaciones de los precios de nudos promedios mensuales ajustados desde abril 2013 hasta abril 2015. Estos se muestran en la siguiente tabla.

| Fecha  | Empresa Distribuidora | Precio Medio Licitación US\$/MWh | Precio Medio Reajustado US\$/MWh | Energía Contratada GWh/año | Variación       |
|--------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------|
| abr-13 | Chilectra             | 64,5                             | 64,5                             | 12.000                     |                 |
| may-13 | Chilectra             | 64,5                             | 64,5                             | 12.000                     | 0,0000          |
| jun-13 | Chilectra             | 65,1                             | 77,1                             | 12.000                     | 0,1952          |
| jul-13 | Chilectra             | 64,8                             | 76,4                             | 12.000                     | -0,0088         |
| ago-13 | Chilectra             | 64,9                             | 76,5                             | 12.000                     | 0,0015          |
| sep-13 | Chilectra             | 64,6                             | 76,4                             | 12.000                     | -0,0012         |
| oct-13 | Chilectra             | 64,6                             | 76,5                             | 12.000                     | 0,0009          |
| nov-13 | Chilectra             | 64,6                             | 76,5                             | 12.000                     | 0,0000          |
| dic-13 | Chilectra             | 68,2                             | 78,0                             | 13.350                     | 0,0195          |
| ene-14 | Chilectra             | 68,5                             | 78,3                             | 13.350                     | 0,0033          |
| feb-14 | Chilectra             | 69,0                             | 78,5                             | 13.350                     | 0,0036          |
| mar-14 | Chilectra             | 69,4                             | 78,9                             | 13.350                     | 0,0047          |
| abr-14 | Chilectra             | 69,4                             | 78,9                             | 13.350                     | 0,0001          |
| may-14 | Chilectra             | 69,4                             | 79,1                             | 13.350                     | 0,0018          |
| jun-14 | Chilectra             | 69,8                             | 79,1                             | 13.350                     | 0,0011          |
| jul-14 | Chilectra             | 70,2                             | 79,4                             | 13.350                     | 0,0034          |
| ago-14 | Chilectra             | 70,4                             | 79,5                             | 13.350                     | 0,0006          |
| sep-14 | Chilectra             | 70,2                             | 79,4                             | 13.350                     | -0,0010         |
| oct-14 | Chilectra             | 70,2                             | 79,4                             | 13.350                     | 0,0000          |
| nov-14 | Chilectra             | 69,77                            | 79,34                            | 12.587                     | -0,0004         |
| dic-14 | Chilectra             | 69,86                            | 79,39                            | 12.587                     | 0,0007          |
| ene-15 | Chilectra             | 72,50                            | 81,62                            | 13.533                     | 0,0280          |
| feb-15 | Chilectra             | 71,76                            | 80,54                            | 13.533                     | -0,0131         |
| mar-15 | Chilectra             | 70,94                            | 79,61                            | 13.533                     | -0,0116         |
| abr-15 | Chilectra             | 70,37                            | 79,04                            | 13.533                     | -0,0072         |
|        |                       |                                  |                                  |                            | $\sigma=0,0405$ |

Tabla 5.3. Precio Medio de Licitación Chilectra. Fuente. SysteP

La desviación estándar de las variaciones es 0,0405 y será aplicada en la distribución normal antes mencionada. Los datos se considerarán en períodos mensuales.

Las licitaciones y sus períodos de vigencia se muestran a continuación:

| <b>Generador</b> | <b>Energía Contratada (GWh/año)</b> | <b>Adj. US\$/MWh</b> | <b>Inicio de Suministro</b> | <b>Término de Suministro</b> | <b>Proceso Licitación</b> |
|------------------|-------------------------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------|
| AES GENER        | 300                                 | 58,1                 | ene-2010                    | dic-2020                     | 2006/01                   |
| ENDESA           | 1050                                | 50,7                 | ene-2010                    | dic-2020                     | 2006/01                   |
| GUACOLDA         | 900                                 | 55,1                 | ene-2010                    | dic-2020                     | 2006/01                   |
| AES GENER        | 900                                 | 57,8                 | ene-2010                    | dic-2022                     | 2006/01                   |
| ENDESA           | 1350                                | 51,0                 | ene-2010                    | dic-2022                     | 2006/01                   |
| COLBÚN           | 500                                 | 58,6                 | ene-2011                    | dic-2021                     | 2006/02                   |
| ENDESA           | 3200                                | 61,0                 | ene-2011                    | dic-2021                     | 2006/02                   |
| COLBÚN           | 1000                                | 58,3                 | ene-2011                    | dic-2023                     | 2006/02                   |
| COLBÚN           | 1000                                | 58,0                 | ene-2011                    | dic-2025                     | 2006/02                   |
| AES GENER        | 1800                                | 65,8                 | ene-2011                    | dic-2023                     | 2006/02-2                 |
| ENDESA           | 487                                 | 129,0                | dic-2013                    | dic-2024                     | 2013/01                   |
| PANGUIPULLI      | 56                                  | 128,0                | dic-2013                    | dic-2024                     | 2013/01                   |
| ENDESA           | 990                                 | 91,0                 | ene-2014                    | dic-2027                     | 2010/01                   |

Tabla 5.4. Contratos asumidos por Chilectra con empresa generadora en procesos de licitación según Ley 20.018. Fuente. Systep.

De este modo, la proyección de precios utilizada corresponde a la conjugación de contratos. Además se toma como referencia que el año 2015 se hará una nueva licitación. Las ofertas se abrirán el 2016 y es por un bloque de energía de 12.000 GWh/año, comenzará a regir el 2021 y tendrá una vigencia de 20 años. Se espera que el resultado de esta licitación resulte en precios más bajos, debido a mejora en las bases, en los procedimientos y en la incorporación de las tecnologías ERNC.

Finalmente, llevando los datos a períodos anuales, tomando el promedio de los valores mensuales, tenemos estos precios simulados en los próximos 25 años.

| Año | $x_{ij}$  | Media           | F. Exp de Perd. | Desviación estándar | Simulación                      |
|-----|-----------|-----------------|-----------------|---------------------|---------------------------------|
|     |           | Prom (US\$/MWh) |                 |                     | Prom P. Energía Risk (US\$/MWh) |
| 1   | $x_{i1}$  | 77,51           | 1,0126          | 0,0405              | 78,47                           |
| 2   | $x_{i2}$  | 77,51           | 1,0131          | 0,0405              | 78,51                           |
| 3   | $x_{i3}$  | 77,51           | 1,0136          | 0,0405              | 78,55                           |
| 4   | $x_{i4}$  | 77,51           | 1,0141          | 0,0405              | 78,59                           |
| 5   | $x_{i5}$  | 77,51           | 1,0146          | 0,0405              | 78,63                           |
| 6   | $x_{i6}$  | 77,51           | 1,0151          | 0,0405              | 78,67                           |
| 7   | $x_{i7}$  | 80,33           | 1,0156          | 0,0405              | 79,90                           |
| 8   | $x_{i8}$  | 85,10           | 1,0161          | 0,0405              | 83,62                           |
| 9   | $x_{i9}$  | 91,41           | 1,0166          | 0,0405              | 89,17                           |
| 10  | $x_{i10}$ | 102,37          | 1,0171          | 0,0405              | 97,60                           |
| 11  | $x_{i11}$ | 78,94           | 1,0176          | 0,0405              | 94,22                           |
| 12  | $x_{i12}$ | 92,98           | 1,0181          | 0,0405              | 86,31                           |
| 13  | $x_{i13}$ | 92,98           | 1,0186          | 0,0405              | 94,69                           |
| 14  | $x_{i14}$ | 92,98           | 1,0191          | 0,0405              | 94,74                           |
| 15  | $x_{i15}$ | 92,98           | 1,0196          | 0,0405              | 94,78                           |
| 16  | $x_{i16}$ | 92,98           | 1,0201          | 0,0405              | 94,83                           |
| 17  | $x_{i17}$ | 92,98           | 1,0206          | 0,0405              | 94,88                           |
| 18  | $x_{i18}$ | 92,98           | 1,0211          | 0,0405              | 94,92                           |
| 19  | $x_{i19}$ | 92,98           | 1,0216          | 0,0405              | 94,97                           |
| 20  | $x_{i20}$ | 92,98           | 1,0221          | 0,0405              | 95,02                           |
| 21  | $x_{i21}$ | 92,98           | 1,0226          | 0,0405              | 95,06                           |
| 22  | $x_{i22}$ | 92,98           | 1,0231          | 0,0405              | 95,11                           |
| 23  | $x_{i23}$ | 92,98           | 1,0236          | 0,0405              | 95,16                           |
| 24  | $x_{i24}$ | 92,98           | 1,0241          | 0,0405              | 95,20                           |
| 25  | $x_{i25}$ | 92,98           | 1,0246          | 0,0405              | 95,25                           |

Tabla 5.5. Precio de energía modelada, con  $i = 1..12$ . Fuente. Elaboración propia.

Los datos indicados en la sexta columna se refieren a la simulación considerando que en cada año se tendrá una distribución de probabilidad normal, pero con medias distintas.

Sea  $P_{Eij}$ : El precio de la energía mensual obtenidos según distribución normal con medias muestrales según tabla 5.5 y desviación estándar 0,0405 en el mes  $i$  año  $j$ . En este caso, al año  $j$  le corresponderán 12 meses, con medias y desviación estándar iguales

$$P_{Eij} \sim N(x_{ij}, 0,0405) \quad (5.1.3)$$

$x_{ij}$ : Precio nudo promedio de largo plazo en el mes  $i$  y año  $j$

El precio de la energía proyectado presenta un coeficiente de variación de 8,9% promedio con una desviación estándar casi nula.

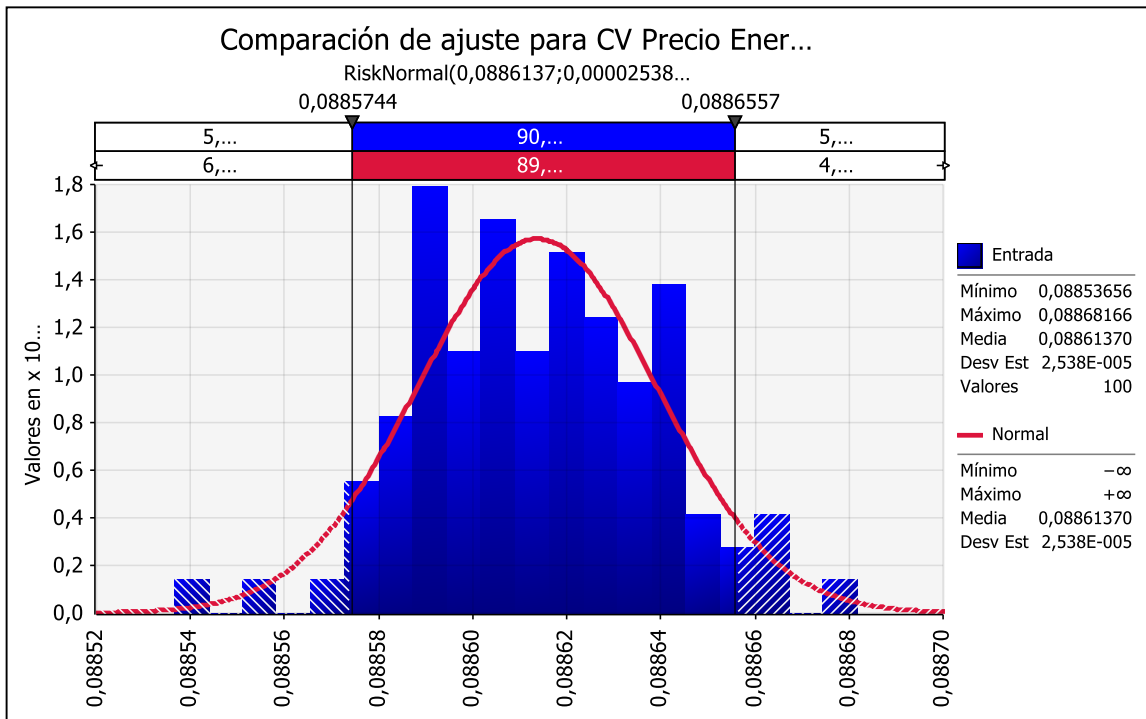


Gráfico 5.2. Coeficiente de variación del precio de la energía proyectado \$US/MWh. Fuente. Elaboración propia.

## 5.2 IRRADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL

La irradiación global horizontal, tal como se mencionó anteriormente, constituye una variable de riesgo, pues determina cuanta energía solar se tendrá disponible en un horizonte de tiempo.

Para esta etapa, se planteó un supuesto importante. Los datos de irradianza global diaria de la tabla 3.3, expresado como kWh/m<sup>2</sup> corresponderán a las medias de una distribución de probabilidades normal.

Para encontrar los valores estadísticos de las distribuciones, se realizó en base a lo informado por la Evaluación del Recurso Solar de la Universidad de Chile con los datos de ubicación del supermercado.

| Mes | Año  |      |      |      |      |      |      |      |      |      | $\bar{x}$<br>2015 | $\sigma^2$ |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------------|------------|
|     | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |                   |            |
| E   | 9,03 | 8,84 | 9,01 | 8,91 | 8,65 | 8,92 | 8,81 | 8,84 | 8,89 | 8,90 | 9,03              | 0,01       |
| F   | 8,16 | 8,11 | 7,62 | 7,62 | 7,71 | 7,93 | 8,08 | 8,08 | 7,78 | 8,04 | 7,98              | 0,04       |
| M   | 6,82 | 6,31 | 6,03 | 6,82 | 6,35 | 6,52 | 6,71 | 6,67 | 6,28 | 6,84 | 6,43              | 0,07       |
| A   | 4,66 | 4,14 | 4,79 | 4,81 | 4,52 | 4,71 | 5,00 | 4,68 | 4,70 | 4,60 | 4,43              | 0,05       |
| M   | 3,24 | 3,27 | 2,78 | 3,20 | 3,08 | 3,05 | 3,12 | 3,21 | 3,35 | 3,04 | 2,98              | 0,02       |
| J   | 2,14 | 2,54 | 2,26 | 2,32 | 2,53 | 2,62 | 2,57 | 2,54 | 2,72 | 2,39 | 2,32              | 0,03       |
| J   | 2,93 | 2,63 | 2,63 | 2,53 | 2,56 | 2,70 | 2,93 | 2,91 | 3,10 | 2,98 | 2,72              | 0,04       |
| A   | 3,58 | 3,60 | 2,96 | 3,47 | 3,68 | 3,51 | 3,30 | 3,51 | 3,53 | 3,29 | 3,31              | 0,04       |
| S   | 4,70 | 4,93 | 4,84 | 4,58 | 5,34 | 4,81 | 4,53 | 5,05 | 5,11 | 5,00 | 4,72              | 0,06       |
| O   | 6,75 | 6,10 | 6,54 | 6,08 | 6,95 | 6,70 | 5,93 | 6,45 | 6,59 | 6,59 | 6,25              | 0,10       |
| N   | 8,09 | 7,30 | 8,17 | 8,11 | 8,31 | 8,47 | 7,01 | 8,02 | 8,28 | 8,17 | 8,03              | 0,19       |
| D   | 9,02 | 8,66 | 8,67 | 8,73 | 9,14 | 9,09 | 9,01 | 8,83 | 9,08 | 8,56 | 9,05              | 0,04       |

Tabla 5.6. Irradiación global horizontal diaria promedio. Fuente: Informe evaluación del Recurso Solar de la Universidad de Chile

La media de cada mes se considerará la irradiancia efectivamente pronosticada el 2015, y la desviación estándar, la calculada según los datos históricos.

Las distribuciones normales para cada mes quedarán expresadas de la siguiente manera.

| Mes | Media | Varianza |
|-----|-------|----------|
| Ene | 9,03  | 0,01     |
| Feb | 7,98  | 0,04     |
| Mar | 6,43  | 0,07     |
| Abr | 4,43  | 0,05     |
| May | 2,98  | 0,02     |
| Jun | 2,32  | 0,03     |

| Mes | Media | Varianza |
|-----|-------|----------|
| Jul | 2,72  | 0,04     |
| Ago | 3,31  | 0,04     |
| Sep | 4,72  | 0,06     |
| Oct | 6,25  | 0,10     |
| Nov | 8,03  | 0,19     |
| Dic | 9,05  | 0,04     |

Tabla 5.7. Parámetros de distribución normal aplicada a cada mes a la probabilidad de radiación global horizontal diaria. Fuente. Elaboración propia.

Para obtener la radiación mensual y, por ende, la radiación anual, se multiplicará la radiación diaria obtenida mediante simulación de riesgo por los días correspondientes a cada mes en particular.

### 5.3 DEGRADACIÓN Y COEFICIENTE DE RENDIMIENTO.

#### 5.3.1 Coeficiente de Rendimiento (Performance ratio)

Antes de realizar el estudio de la degradación de los paneles fotovoltaicos, es conveniente aclarar el concepto de rendimiento, el cual aparece informado en las tablas de cada proponente, a saber, tabla 3.5 y 3.8. El rendimiento (en inglés performance ratio) es una magnitud, independiente del lugar de ubicación, referente a la calidad de una instalación fotovoltaica y, por ello, constituye a menudo también un factor de calidad. Expresa la relación entre el rendimiento real y el rendimiento nominal de la instalación fotovoltaica. De esta forma indica qué proporción de la energía está realmente disponible para la alimentación tras haber descontado las pérdidas energéticas (p. ej. Debido a pérdidas térmicas y a pérdidas por cableado) y el consumo propio para la operación. Cuanto más cercano al 100 % sea el valor del coeficiente de rendimiento calculado para una instalación fotovoltaica, de forma más efectiva trabajará esta instalación fotovoltaica. No obstante, no es posible alcanzar un valor real del 100 % puesto que durante la operación de la instalación fotovoltaica se producen siempre

pérdidas inevitables (p. ej. pérdidas térmicas por el calentamiento de los módulos fotovoltaicos).

Para entender un poco más acerca del rendimiento, se estudiará la curva característica I-V de un módulo fotovoltaico.

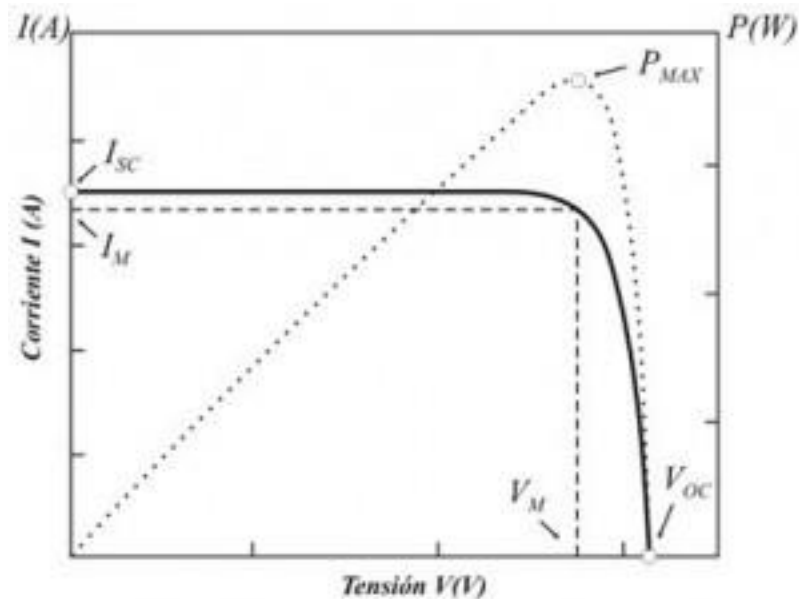


Gráfico 5.3. Curva característica I-V típica de un panel fotovoltaico<sup>4</sup>.

El gráfico anterior se obtiene a través de la fórmula que describe su funcionamiento.

$$I = I_L - I_0 \left[ e^{\frac{e(V+IR_S)}{mkT}} - 1 \right] - \frac{V+IR_S}{R_p} \quad (5.3.1)^5$$

Donde:

$I$  = Corriente total que entrega el panel solar al sistema.

$I_L$  = Corriente entregada por el panel producto de la radiación solar.

$I_0$  = Corriente de saturación del diodo.

$R_S$  = Resistencia serie

<sup>4</sup> <http://eliseosebastian.com/caracteristica-electrica-basica-de-una-celda-fotovoltaica/>

<sup>5</sup> Análisis de factores que influyen en la pérdida de potencia de módulos fotovoltaicos. Universidad Nacional de Salta – Av. Bolivia

$R_p$  = Resistencia paralelo

$m$  = Coeficiente de idealidad del diodo

$k$  = Constante de Boltzman

$T$  = Temperatura absoluta

El gráfico 5.3 indica que la potencia máxima se puede obtener con los puntos  $I_M$  y  $V_M$ , de la curva característica V-I, que son los puntos que maximizan la función

$$P(V, I) = VI = V \left[ I_L - I_0 \left[ e^{\frac{e(V+IR_S)}{mkT}} - 1 \right] - \frac{V+IR_S}{R_p} \right] \quad (5.3.2)$$

Si bien es cierto, la presente Tesina no pretende hacer un estudio del principio de funcionamiento de los paneles fotovoltaicos, es interesante notar que los puntos de la curva característica que intersecta a los ejes son la corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ) y el voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ ), por lo tanto, saber cómo afectan a estas variables, es ver cómo afecta en la producción general.

La irradiancia afecta proporcionalmente a la corriente de corto circuito, que es la corriente producida cuando el voltaje de cero, es decir, es la máxima corriente que el panel puede generar. La producción de energía, dependiente de la irradiancia, viene informado en las tablas 3.5 y 3.8.

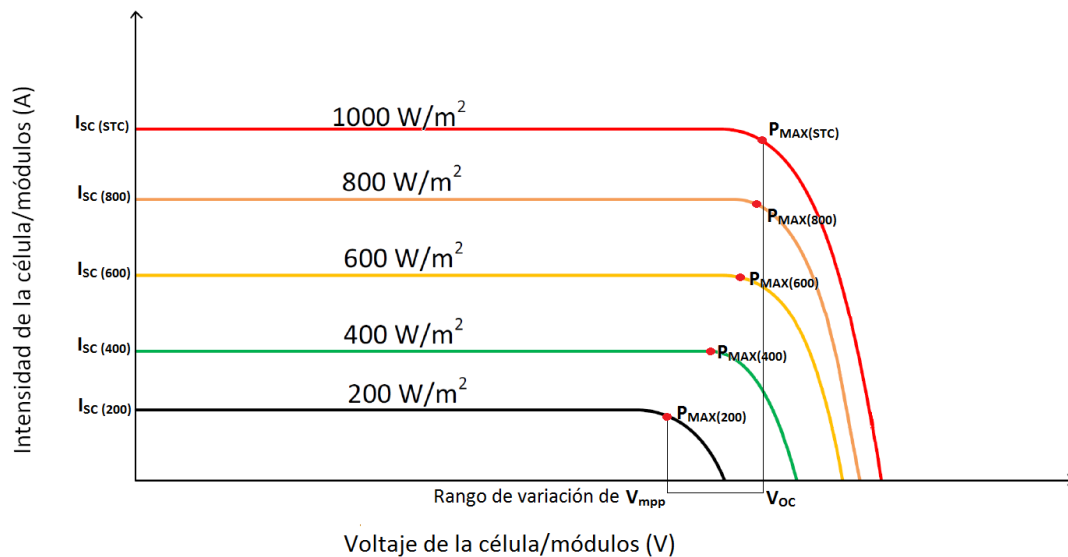


Gráfico 5.4. Efecto de la irradiancia en la corriente de corto circuito. Fuente. Siv Helene Nordahl. *Design of Roof PV Installation in Oslo*.

Debido a que la temperatura de operación de las celdas solares puede variar en varios grados durante el día, se hace necesario considerar la incidencia del efecto de la temperatura sobre la eficiencia de las mismas.

La corriente de cortocircuito no depende fuertemente de la temperatura. Más aún tiende a aumentar con el aumento de la temperatura. Este efecto puede atribuirse al crecimiento de la absorción de fotones, ya que al aumentar la misma, el gap del semiconductor disminuye. Sin embargo, afecta notablemente en el voltaje de circuito abierto, que la tensión que se obtiene del panel solar cuando no hay ninguna corriente que lo atraviesa, es decir cuando la intensidad es cero.

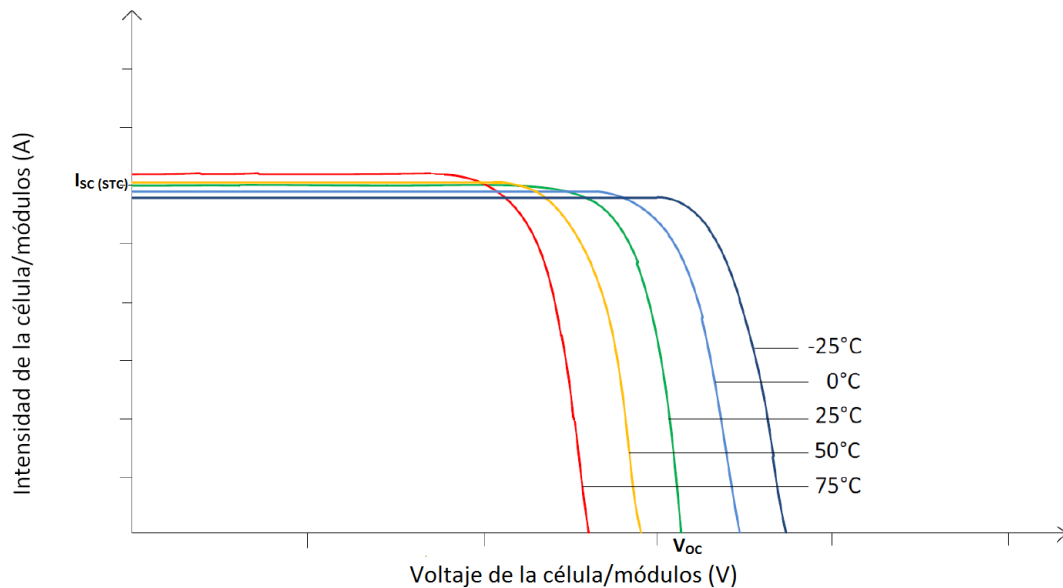


Gráfico 5.5. Efecto de la temperatura en el voltaje de circuito abierto. Fuente. Siv Helene Nordahl. Design of Roof PV Installation in Oslo.

Ahora bien, las pérdidas de eficiencia debido al factor temperatura e irradiancia están contenidos en las tablas antes mencionadas en la columna Rendimiento (%), y para efecto de este estudio, serán iguales en cada año, a pesar de que en la práctica, toda instalación eléctrica presente rendimientos decrecientes con el tiempo.

### 5.3.2 Degradación

La degradación es un efecto propio de los paneles solares dependientes tanto de sí mismo como de factores externos. Se considera como un factor de riesgo una degradación mayor a la declarada por el fabricante, que este caso es de 0,7% para la Empresa 2. La Empresa 1 no declaró la pérdida de potencia anual, pero si garantizó el 90% de la producción, lo que para efecto de este estudio no es válido, ya que es un rango muy extenso, por lo tanto, para el tipo de panel policristalino, se verá un caso real de degradación.

Los datos a continuación se basaron en un estudio publicado en la IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar, referente a la degradación de

los paneles solares poli cristalinos después de 12 años de uso en Málaga, España.

A modo de resumen, los factores que más incidieron en la degradación fueron:

a) Suciedad del vidrio.

Polvo suspendido en el ambiente que se posita en los paneles fotovoltaicos.

b) Delaminación frontal.

Dibujos blancos o lechosos en áreas muy pequeñas sobre las células solares, principalmente en las proximidades de las cintas de interconexión y en el perímetro de la célula. Puede aparecer "debido a la degradación acelerada en las condiciones de calor-humedad, produciendo un efecto químico al interior de la célula.

c) Rejilla frontal y oxidación de capa anti reflectante.

La pérdida de la fuerza de adhesión entre la célula y el encapsulante reduce la protección de la célula y facilita oxidación y corrosión de la capa anti reflectante y de los metales de la célula.

d) Rotura de la célula.

Pueden formarse por estrés mecánico o térmico sobre las células durante el período de exposición.

El estudio antes señalado comprendió una muestra de 42 paneles fotovoltaicos en base a Silicio. La tabla siguiente muestra la variación porcentual de los parámetros más importantes.

| Parámetros         | Medidas iniciales |                     | Medidas finales |                     | Variación (%) |
|--------------------|-------------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------|
|                    | Media             | Desviación estándar | Media           | Desviación estándar |               |
| $I_{sc}$ (A)       | 3,1               | 0,0                 | 2,8             | 0,0                 | -9,2%         |
| $V_{oc}$ (V)       | 21,5              | 0,2                 | 21,1            | 0,2                 | -1,8%         |
| $I_m$ (A)          | 2,8               | 0,0                 | 2,5             | 0,0                 | -10,1%        |
| $V_m$ (V)          | 17,3              | 0,2                 | 17,0            | 0,2                 | -1,7%         |
| $P_m$ (W)          | 48,0              | 1,0                 | 42,5            | 0,8                 | -11,6%        |
| $FF$ (%)           | 71,5              | 0,8                 | 71,0            | 1,5                 | -0,7%         |
| $R_s$ ( $\Omega$ ) | 0,4               | 0,1                 | 0,3             | 0,1                 | -4,0%         |
| $R_p$ ( $\Omega$ ) | 130,0             | 47,0                | 137,0           | 40,0                | 5,0%          |

Tabla 5.8. Variación de parámetros de paneles fotovoltaicos después de 12 años de uso. Fuente. Universidad de Málaga. Málaga, España.

Los paneles fueron instalados en la Universidad de Málaga, por lo estos estuvieron sometidos a una radiación global específicos de la zona.

La siguiente tabla muestra un comparativo de la radiación global de Málaga España y el proyecto donde está emplazado el supermercado.

| Mes   | Rad Mensual (kWh/m <sup>2</sup> )<br>Málaga - España | Rad Mensual (kWh/m <sup>2</sup> )<br>Stgo - Chile | T. máx. prom. (°C)<br>Málaga - España | T. máx. prom. (°C)<br>Santiago de Chile |
|-------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|
| E     | 84                                                   | 285                                               | 18                                    | 30                                      |
| F     | 98                                                   | 240                                               | 18                                    | 30                                      |
| M     | 140                                                  | 186                                               | 20                                    | 27                                      |
| A     | 175                                                  | 137                                               | 22                                    | 23                                      |
| M     | 210                                                  | 103                                               | 25                                    | 19                                      |
| J     | 227                                                  | 72                                                | 30                                    | 15                                      |
| J     | 236                                                  | 89                                                | 32                                    | 15                                      |
| A     | 210                                                  | 107                                               | 32                                    | 17                                      |
| S     | 160                                                  | 147                                               | 29                                    | 19                                      |
| O     | 114                                                  | 191                                               | 24                                    | 22                                      |
| N     | 82                                                   | 237                                               | 20                                    | 25                                      |
| D     | 66                                                   | 278                                               | 17                                    | 28                                      |
| Total | 1801                                                 | 2072                                              | $\bar{x} = 23,9$                      | $\bar{x} = 22,5$                        |

Tabla 5.9. Comparación entre la radiación mensual promedio y Temperatura máxima promedio de Málaga de España y Santiago de Chile. Fuente. Elaboración propia.

Respecto a las temperaturas, los estadísticos se muestran a continuación:

| Datos      | T° Máx Málaga – España | T° Máx Stgo – Chile |
|------------|------------------------|---------------------|
| Promedio   | 23,92 °C               | 22,52 °C            |
| Desv Est.  | 5,62                   | 5,55                |
| Rango      | 15,00 °C               | 14,80 °C            |
| Coef. Var. | 23,5%                  | 24,6%               |

Tabla 5.10. Datos estadísticos de temperaturas máximas de Málaga, España y Santiago de Chile. Fuente. Elaboración propia.

Es importante destacar que los valores promedios de temperaturas máximas durante el año son muy similares incluyendo el rango (diferencia entre la mayor temperatura y la menor temperatura del año), siendo un poco mayor las de Málaga. El coeficiente de variación de las temperaturas máximas de Santiago es mayor que la de Málaga, por lo tanto, sus datos están más dispersos respecto al promedio, indicando que probablemente en Santiago tengamos temperaturas menos homogéneas.

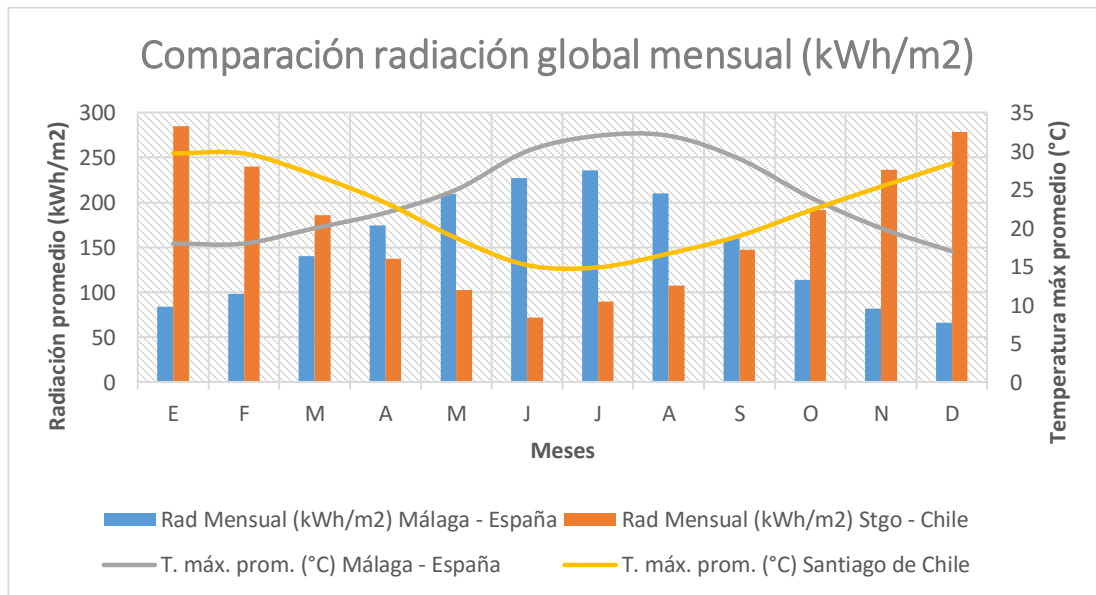


Gráfico 5.6. Comparación entre la radiación mensual promedio y Temperatura máxima promedio de Málaga de España y Santiago de Chile. Fuente. Elaboración propia.

Si bien es cierto el comportamiento de ambas curvas son diferentes, la radiación global promedio anual de Málaga es menor a la de Chile. Respecto a la temperatura, estas presentan un promedio de 23,9 °C y 22,5°C respectivamente, muy parecidas entre ellas. La desviación estándar para Málaga España es de 5,62 y para Santiago de Chile es de 5,55, que también no tiene mayor diferencia, sin embargo, es conveniente indicar que el primero tiene un mayor grado de dispersión, o mejor dicho, el rango entre temperatura máxima y mínima es mayor.

Para hacer comparable el estudio, las curvas fueron trasladadas a condiciones estándar usuales (STC) siguiendo el procedimiento descrito en IEC891 (2009), con los parámetros de traslación dados por el fabricante. Las curvas trasladadas fueron ajustadas al modelo de un diodo, con el factor de idealidad como variable, usando el software IVFIT, Burgers A.R. et al. (1996) proporcionado por el Centro de Investigación de la Energía del Países Bajos (ECN). Esto nos permite calcular los valores de la resistencia serie ( $R_s$ ) y paralelo ( $R_p$ ) de cada módulo antes y después de la degradación, así como sus parámetros característicos: corriente de corto circuito ( $I_{sc}$ ), tensión en circuito abierto ( $V_{oc}$ ), factor de relleno ( $FF$ ) y corriente del punto de máxima potencia ( $I_m$ ), tensión de dicho punto ( $V_m$ ) y la potencia eléctrica ( $P_m$ ). Se ha realizado un análisis estadístico de los parámetros característicos antes y después de la degradación. Se ha observado que los datos se ajustan bien a una distribución normal<sup>6</sup>.

Sin embargo, en el presente análisis, se usará una distribución triangular para que, de esta manera, se puedan establecer valores máximos y mínimos de degradación. Tal como se puede ver en la tabla 5.4, la potencia máxima tuvo una disminución media en 12 años de un 11,6% con una desviación estándar de 0,8. De esta manera, se usarán los valores no determinísticos de energía generada, menos el 0,96% de degradación (11,6%/12) no determinístico, para el caso de la

---

<sup>6</sup> Degradación de módulos fotovoltaicos de silicio cristalino tras 12 años de operación en España. Universidad de Málaga. Málaga, España

Empresa 1. Esto constituirá el valor más probable; habrá un valor máximo dado por la energía generada el mismo mes y un valor mínimo dado por el valor más probable menos la distancia entre la energía generada y este último, vale decir:

$$\begin{aligned}
 \max_{ij} &= E_{PFij} \\
 \bar{x}_{ij} &= E_{PFij} \cdot (1 - (j - 1) \cdot 0,0096) \\
 \min_{ij} &= 2\bar{x}_{ij} - E_{PFij}
 \end{aligned}
 \tag{5.3.3}$$

Para el caso de la Empresa 2, se usará la degradación dada por el proveedor (0,7%), ya que el estudio anterior es referente a celda de silicio y no para celdas CIS como es este caso. De esta forma, la configuración queda de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 \max_{ij} &= E_{PFij} \\
 \bar{x}_{ij} &= E_{PFij} \cdot (1 - (j - 1) \cdot 0,007) \\
 \min_{ij} &= 2\bar{x}_{ij} - E_{PFij}
 \end{aligned}
 \tag{5.3.4}^7$$

$$i = \text{mes. } 1 \dots 12$$

$$j = \text{año. } 1 \dots 25$$

La justificación de aplicar esta distribución de probabilidades es que el valor máximo probable no puede ser mayor que la media del año anterior, y esto es porque la degradación es inevitable y no puede ocurrir lo contrario. De esta forma, los valores tendrán un máximo y un mínimo.

---

<sup>7</sup> Se asume en este caso y en anterior que  $(1 - a)^n \approx 1 - na$

#### **5.4 ENERGÍA MÍNIMA DE GENERACIÓN (kWh/año) E INDICE DE COSTO DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN (USD/kWh/mes)**

La energía mínima de generación y el índice de costo por concepto de O&M del sistemas son variables que la propia Empresa 2 estableció. Hay que tener en cuenta algunos factores, entre ellos: Que el proyecto logre flotar con la energía garantizada, ya que esta variable se usará en el flujo financiero. También va de la mano con la pérdida de eficiencia que la empresa pronosticó anualmente (0,7 % anual), y que será evaluada dentro de lo estudiado en el punto 5.3.1, sin perder el objetivo que la empresa logre tener los incentivos necesarios para realizar un mantenimiento óptimo.

Por lo tanto, para el estudio de la presente Tesina, estos valores serán fijos, es decir, una pérdida de producción del 0,7% anual, garantizando el 98%.

El índice por concepto de mantenimiento también se fija en 0,015 USD/kWh.

Respecto a la devolución por la posible generación bajo la curva garantizada, se hará con el precio promedio de la energía del año anterior.

#### **5.5 PRECIO DEL DOLAR**

El precio del dólar resulta una variable relevante al momento de realizar la inversión, ya que todos los precios de los proveedores están expresados en esta moneda. En el caso de la Empresa 2, el valor por concepto de mantenimiento y operación también está expresado en dólares, en este caso, se estableció considerar el precio del dólar promedio del mes.

Como es sabido, el dólar es una variable que no depende de ninguna manera del mes, sino más bien de la cantidad de dólares circulantes en el país. La presente Tesina no pretende hacer un estudio acabado referente a las variaciones de dólar, más bien, pretende darle un valor no determinístico para ingresarlo en la evaluación financiera.

El procedimiento realizado es el siguiente:

Se tomó una muestra de dólar observado diario desde el año 1990 hasta el año 2014 (25 años). Se obtuvo el dólar promedio diario de cada mes y luego se calculó la variación del mes respecto al mes anterior, es decir:

$$Var = \frac{D_{ij} - D_{(i-1)j}}{D_{(i-1)j}} \quad i = 1 \dots 300; j = 1 \dots 25 \quad (5.5.1)$$

$D_i$  = Dólar mes  $i$  año  $j$ .

Posteriormente, con el software @Risk se ajustaron los datos anuales de las variaciones a una distribución de probabilidades, obteniendo lo siguiente:

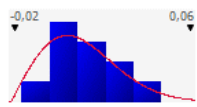
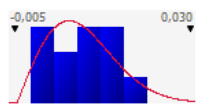
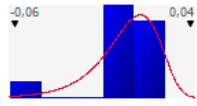
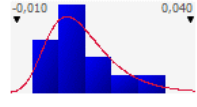
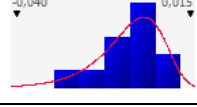
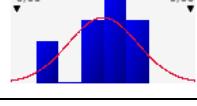
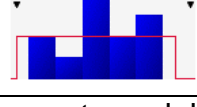
| Nombre | Distribución con mejor ajuste según AIC | Media    | Desviación Estandar | Gráfico                                                                               |
|--------|-----------------------------------------|----------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | Distribución Rayleigh                   | 0,0111   | 0,0159              |   |
| 2      | Distribución Rayleigh                   | 0,00876  | 0,00641             |  |
| 3      | Distribución Valor extremo mínimo       | 0,00293  | 0,0176              |  |
| 4      | Distribución Valor extremo              | 0,00944  | 0,00946             |  |
| 5      | Distribución Valor extremo mínimo       | -0,00486 | 0,0103              |  |
| 6      | Distribución Función error de Gauss     | 0        | 0,0226              |  |
| 7      | Distribución Uniforme                   | 0,00159  | 0,00627             |  |

Tabla 5.11. Distribuciones de probabilidad ajustadas a muestras del dólar observado entre 1990 y 2015. Fuente. Elaboración propia.

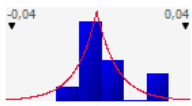
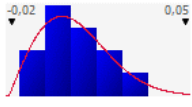
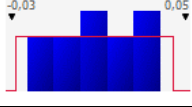
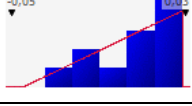
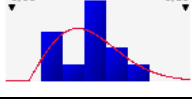
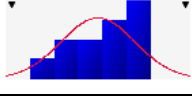
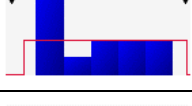
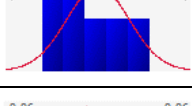
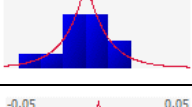
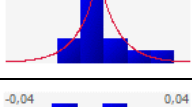
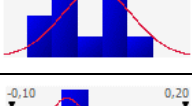
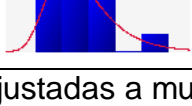
|    |                                     |          |        |                                                                                       |
|----|-------------------------------------|----------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 8  | Distribución Laplace                | -0,00053 | 0,0123 |    |
| 9  | Distribución Rayleigh               | 0,00634  | 0,0132 |    |
| 10 | Distribución Uniforme               | 0,00837  | 0,0198 |    |
| 11 | Distribución Triangular             | 0,00396  | 0,0163 |    |
| 12 | Distribución Rayleigh               | 0,013    | 0,0278 |    |
| 13 | Distribución Función error de Gauss | 0        | 0,0243 |    |
| 14 | Distribución Uniforme               | -0,00601 | 0,0256 |   |
| 15 | Distribución Función error de Gauss | 0        | 0,0275 |  |
| 16 | Distribución Laplace                | -0,00698 | 0,0188 |  |
| 17 | Distribución Laplace                | 0,000244 | 0,0149 |  |
| 18 | Distribución Función error de Gauss | 0        | 0,0154 |  |
| 19 | Distribución Valor Extremo          | 0,0234   | 0,0542 |  |

Tabla 5.11. (Continuación). Distribuciones de probabilidad ajustadas a muestras del dólar observado entre 1990 y 2015. Fuente. Elaboración propia.

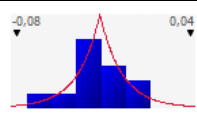
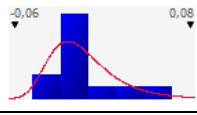
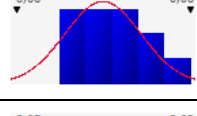
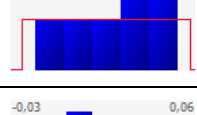
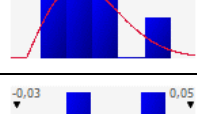

|    |                                     |          |        |                                                                                      |
|----|-------------------------------------|----------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 20 | Distribución Laplace                | -0,022   | 0,0203 |   |
| 21 | Distribución Valor Extremo          | -0,00434 | 0,0254 |   |
| 22 | Distribución Función error de Gauss | 0        | 0,0249 |   |
| 23 | Distribución Uniforme               | -0,00839 | 0,0213 |   |
| 24 | Distribución Rayleigh               | 0,00972  | 0,0168 |   |
| 25 | Distribución Uniforme               | 0,0105   | 0,0183 |  |

Tabla 5.11. (Continuación). Distribuciones de probabilidad ajustadas a muestras del dólar observado entre 1990 y 2015. Fuente. Elaboración propia.

La tabla 5.11 son ajustes de probabilidades de una muestra histórica, sabiendo que hay múltiples variables que afectan su valor.

Por lo tanto, el modelo propuesto es como sigue:

$$P_{Dij} = P_{D(i-1)j} \cdot (1 + \Delta_j) \quad (5.5.2)$$

Donde

$P_{Dij}$ : Precio del dólar mes  $i$  y año  $j$

$\Delta_j$ : Variabilidad estocástica del año  $j$  según tabla 5.11

El resultado, por tanto, indica que el precio del dólar tiene un coeficiente de variación proyectado mínimo de 9,8% y un máximo de 46,2%.

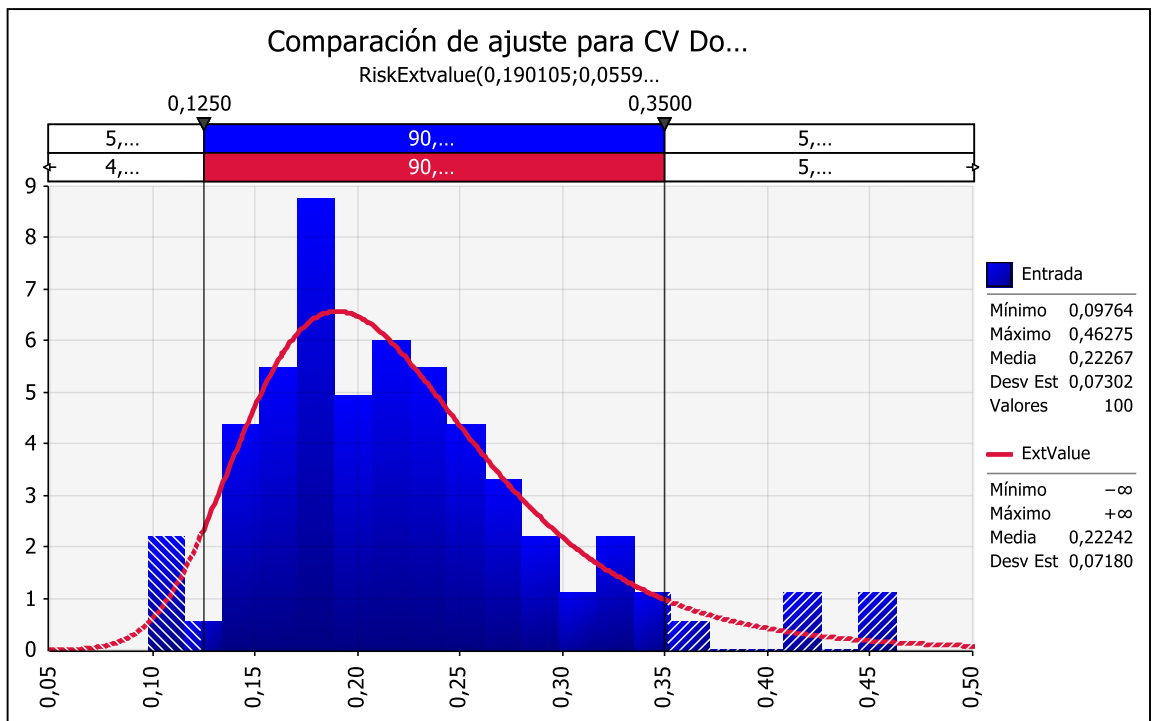


Gráfico 5.7. Coeficiente de variación del precio del dólar \$/USD. Fuente. Elaboración propia

El coeficiente de variación histórico de los últimos 25 años es de un 49,4%, por esta razón se usó el mismo criterio para su pronóstico futuro. Finalmente el precio que se utilizará para el definir el precio de la energía en moneda nacional es lo que indica la CNE en las bases de licitación.

*“se utilizará el tipo de cambio obtenido como el promedio mensual del dólar observado publicado por el Banco Central, del mes de marzo para facturaciones a partir del mes de mayo, y del mes de septiembre para facturaciones a partir del mes de noviembre de cada año según corresponda<sup>8</sup>”*

<sup>8</sup> Bases de licitación de suministros. CNE.

## **6 ANALISIS CUALITATIVO**

En este capítulo, el estudio se centrará en analizar los beneficios y no beneficios de esta tecnología, más allá del riesgo que podría recaer en el inversionista como ya se vio en los capítulos anteriores.

Los paneles fotovoltaicos tienen la cualidad, no única, de ser usados a distintos niveles, es decir, construir grandes plantas para inyectar energía a sistemas interconectados, construir pequeñas plantas en el sector industrial o comercial para autoconsumo o, si existe la posibilidad de inyectar excedentes al sistema, y para el sector residencial. En estos tres ámbitos, la tecnología tiene sus propias cualidades, existiendo, para cada uno, distintos tipos de beneficios, barreras y dificultades. La presente Tesina analiza el uso de paneles fotovoltaicos en el área comercial, más específicamente en el retail.

### **6.1 BENEFICIOS AL MEDIO AMBIENTE**

Impacto sobre la atmósfera Las instalaciones fotovoltaicas no contaminan de ninguna manera a la atmósfera. Se considera una energía limpia, pues transforma la energía fotovoltaica del sol en energía eléctrica. Durante la vida útil de la planta, se estima que se obtendrán resultados beneficiosos para el medioambiente y para la atmósfera en particular, ya que se dejarán de emitir a la misma gases como CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y partículas, además del consumo de materias primas como gas o carbón a la hora de producir energía. En materia de emisiones de CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, como es sabido, el primero es uno de los principales agentes desencadenantes del efecto invernadero, y el segundo provoca la denominada lluvia ácida.

El tema de las emisiones de CO<sub>2</sub> está muy de moda debido a la creciente conciencia por el calentamiento global, y la influencia de las generadoras eléctricas resulta ser un participante muy importante (responsables del 37% de las emisiones del gas)<sup>9</sup>. Es importante para este estudio saber el factor de CO<sub>2</sub>

---

<sup>9</sup> Centro de Gestión y Fortalecimiento para el Mecanismo de Desarrollo Limpio: Informe del Cambio Climático: <http://www.cgfmdl.cl/informacion-general/cambio-climatico/>

mitigado por la incorporación de paneles fotovoltaicos en la cubierta del supermercado. Es sabido, sin embargo, que el proceso de fabricación de paneles tiene sus propias emisiones, sin embargo, no se considerarán ya que no se tiene certeza de origen y las fuentes de energía usada, por tal motivo, su cálculo sería solo teórico o estimativo.

Cada país tiene su propio factor de emisiones de CO<sub>2</sub> que es propio de su sistema eléctrico. Con dicho factor se puede estimar el desplazamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> que se estaría logrando producto de la instalación y operación de proyectos con energía renovable. Esto es, cuántas toneladas de CO<sub>2</sub> se podría dejar de emitir en un sistema si parte de la generación actual se reemplaza por la de un proyecto de estas características.

Para poner en contexto, se destaca la reciente publicación de un estudio por parte del gobierno chileno<sup>10</sup>, en donde se calcula el factor de emisiones de CO<sub>2</sub> tanto para el SIC y el SING, siendo sus resultados 0,48 TonCO<sub>2</sub>/MWh y 0,51 TonCO<sub>2</sub>/MWh respectivamente. Estos valores representan las emisiones de CO<sub>2</sub> que se desplazarían aproximadamente por cada MWh generado por un proyecto con Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), y que por ende dejaría de ser generado por las plantas que no lo son. Con estos valores, el proyecto que se presenta en esta Tesina mitiga anualmente 538,65 Ton CO<sub>2</sub> aproximadamente.

En cuanto a la emisión de NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>, el factor de emisiones son 1,31 Kg NO<sub>x</sub>/MWh/año y 0,89 Ton SO<sub>2</sub>/MWh/año<sup>11</sup>. De esta manera, el proyecto fotovoltaico mitiga anualmente 1,46 Ton NO<sub>x</sub> y 0,99 Ton SO<sub>2</sub> aproximadamente.

---

<sup>10</sup> Agencia Chilena de Eficiencia Energética. Publicación "Herramienta para calcular el Factor de Emisión de un Sistema Eléctrico".

<sup>11</sup> Según indicador de generación y emisión de contaminantes en "Informe de Sostenibilidad 2014". ENDESA.

### 6.1.1 BENEFICIOS A LA IMAGEN DEL CLIENTE

Hay otro beneficio que tiene que ver directamente con el cliente, y es la imagen que proyecta tener un supermercado con tecnología fotovoltaica, ya que demuestra el compromiso con el medio ambiente.

Al respecto, Walmart ha promulgado ser una empresa comprometida con el medio ambiente, así lo demuestra diferentes reportajes en otros países.



Ilustración 6.1. Reportaje sobre Walmart EEUU y México respecto a la energía solar. Fuente: <http://www.seia.org/>

Sin duda que una imagen de sustentabilidad mejora la percepción que tiene la sociedad por un supermercado.

Walmart en estos momentos lidera el mercado de las empresas de retail con mayor capacidad instalada (MW) en EEUU. Y es, independiente del tipo de financiamiento, un sistema rentable que a la compañía arroja muchos beneficios.

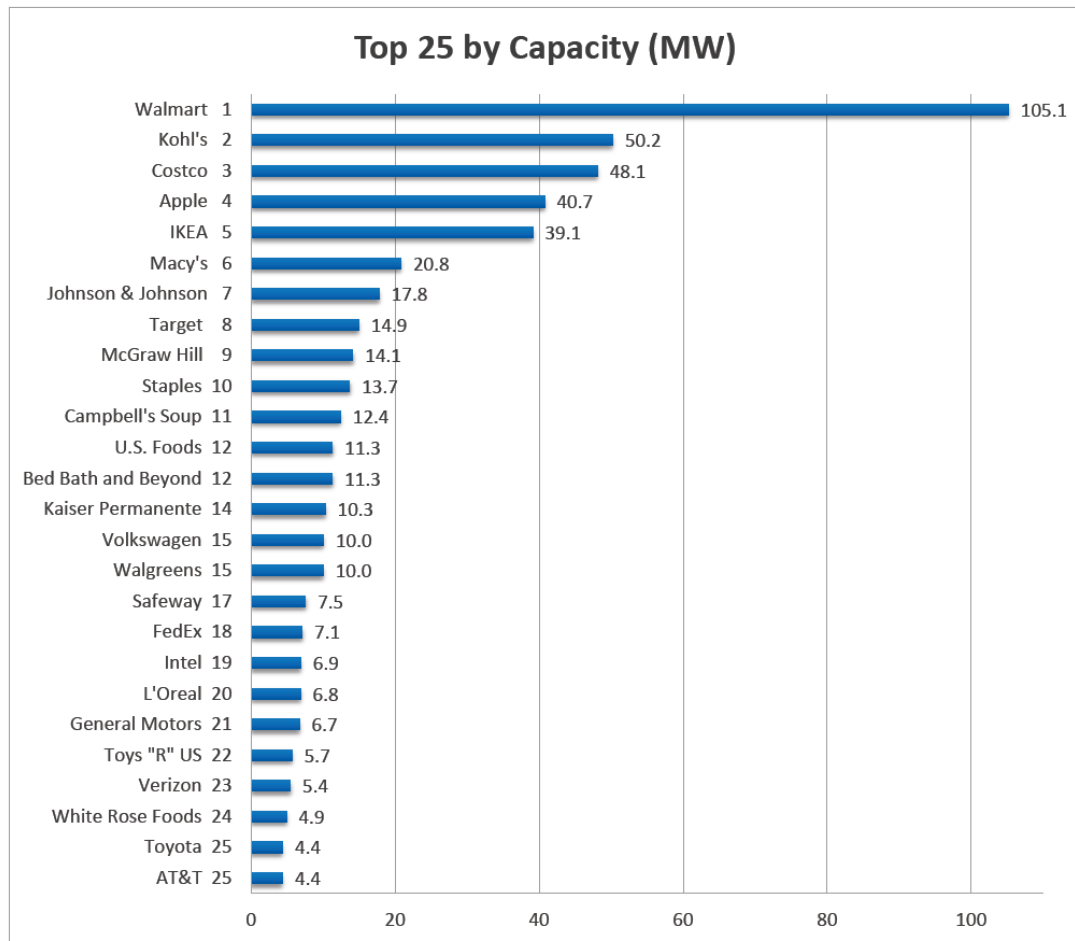


Gráfico 6.1. Ranking de capacidad instalada de energía solar en EEUU. Fuente. <http://www.seia.org/>

Así mismo, Walmart lidera en el mundo empresarial con la mayor cantidad de instalaciones solares en EEUU.

Tal desarrollo hace pensar que realmente para la empresa obtener recursos eléctricos desde paneles solares es una buena inversión. En efecto, estos tipos de proyectos crean empleos, reducen costos a los negocios, al reducir las cuentas de la electricidad, y protegen el medio ambiente.

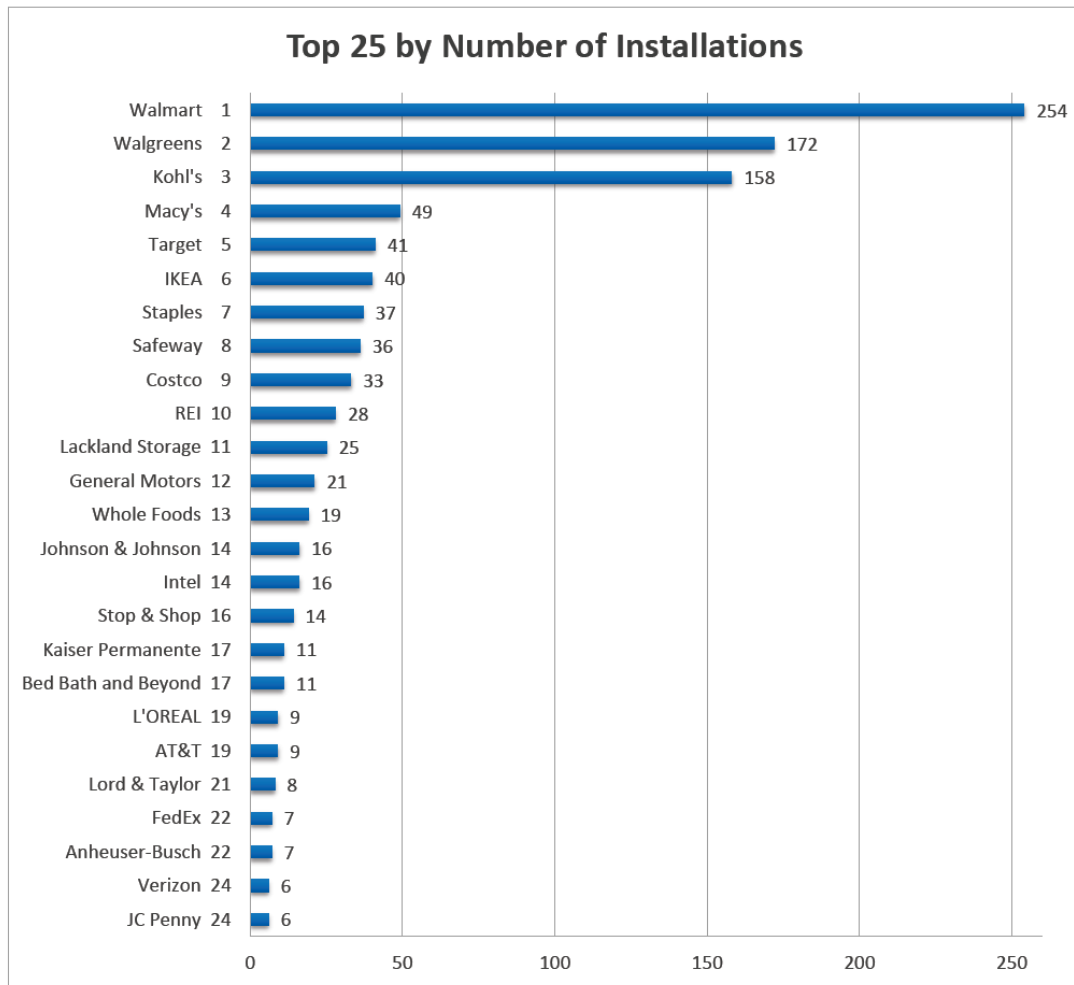


Gráfico 6.2. Ranking de empresas en EEUU que lideran la cantidad de instalaciones solares. Fuente: <http://www.seia.org/>

Se recalca el hecho que estas instalaciones se encuentran en zonas donde la radiación solar es tal que permite que la inversión tenga la rentabilidad esperada, es por eso que están concentradas en los estados de California y Arizona, es por esto que en el ranking de las compañías con mayor diversidad geográfica aparezca en tercer lugar.

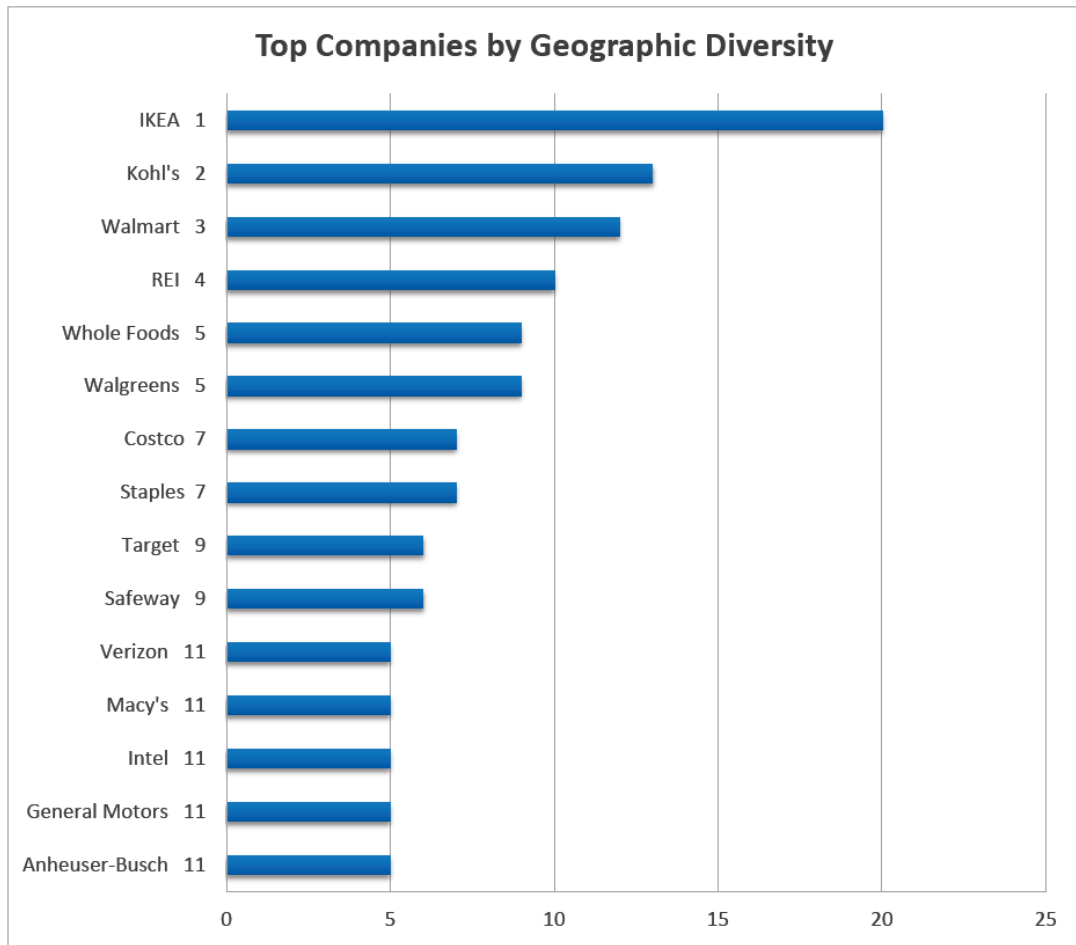


Gráfico 6.3. Ranking de las compañías con mayor diversidad geográfica en la incorporación de paneles solares en EEUU y el resto del mundo. Fuente. <http://www.seia.org/>

Por lo tanto, desde el punto de vista de la empresa, un proyecto solar tendrá cabida a ser desarrollado si el flujo financiero lo permite, tanto si es inversión de Walmart o bien de un tercero. Pero, desde el punto de vista social, tener una empresa comprometida con el medio ambiente otorga una excelente imagen, y de esto la empresa realiza el marketing.

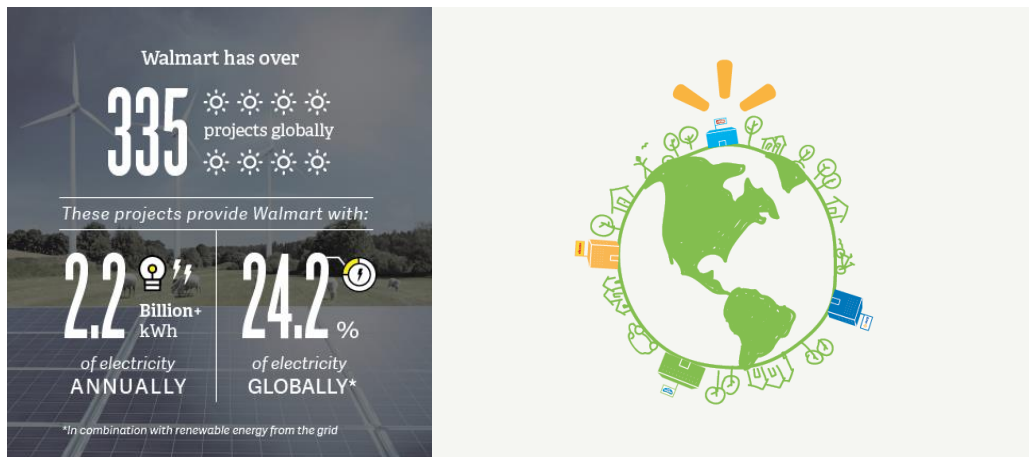


Ilustración 6.2. Publicidad de Walmart referente a su labor con el medio ambiente. Fuente. Walmart.

Con todo lo anterior, sin embargo, el efecto en Chile sobre las ventas es muy poco, ya que al cliente no le interesa en gran medida lo que haga con su energía el supermercado, más bien, el precio de los productos y el servicio prima en su preferencia.

### 6.1.2 BENEFICIOS SOBRE LA AISLACIÓN TÉRMICA DEL SUPERMERCADO

Típicamente, la eficiencia en la conversión de energía solar fotovoltaica a energía eléctrica va desde el 10% hasta el 20%. La reflectancia en general corresponde a un 16-27% de la energía incidente. La mayor parte del calor recibido se transfiere, ya sea a la atmósfera o debajo del edificio. En consecuencia una cubierta fotovoltaica tiene efectos indirectos sobre la transferencia de calor de la azotea a la luz de galpones y edificios.

Los beneficios indirectos de sistemas fotovoltaicos para el aislamiento de edificios se han podido cuantificar a través de mediciones y modelos. Un estudio de Dominguez, Kleissl, Luvall, los primeros de la Universidad de California y el último de la NASA<sup>12</sup>, determinó el impacto de distintas estructuras fotovoltaicas

<sup>12</sup> Effects of Solar Photovoltaic Panels on Roof Heat Transfer. A. Dominguez, J. Kleissl, & M. Samady, Univ of California, San Diego J. C. Luvall, NASA, Marshall Space Flight Center. 2010.

sobre un edificio tipo galpón. Realizaron mediciones de las condiciones térmicas a lo largo de un perfil de techo parcialmente cubierto por paneles fotovoltaicos. Las imágenes infrarrojas térmicas demostraron que en días claros las temperaturas durante el día bajo el techo cubierto de paneles fotovoltaicos eran hasta 2,5 °C más frías que bajo el techo descubierto.

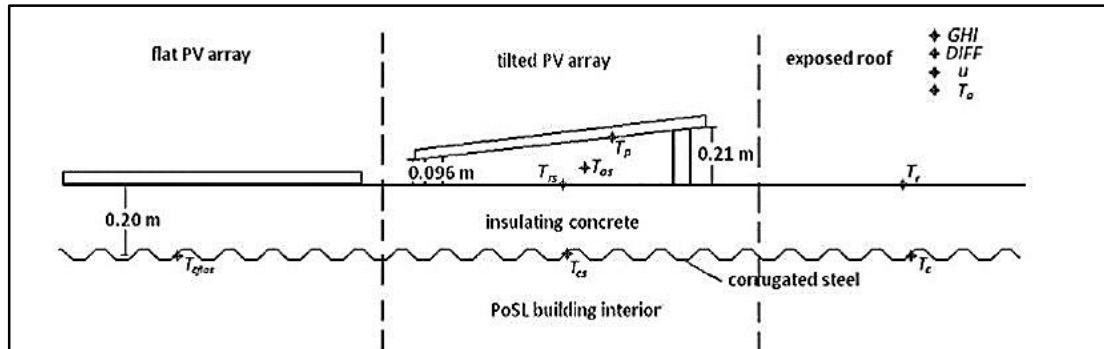


Ilustración 6.3. Cubierta del edificio compuesta por planchas metálicas y concreto. Fuente: Effects of Solar Photovoltaic Panels on Roof Heat Transfer. A. Dominguez, J. Kleissl, & M. Samady, Univ of California, San Diego J. C. Luvall, NASA, Marshall Space Flight Center.

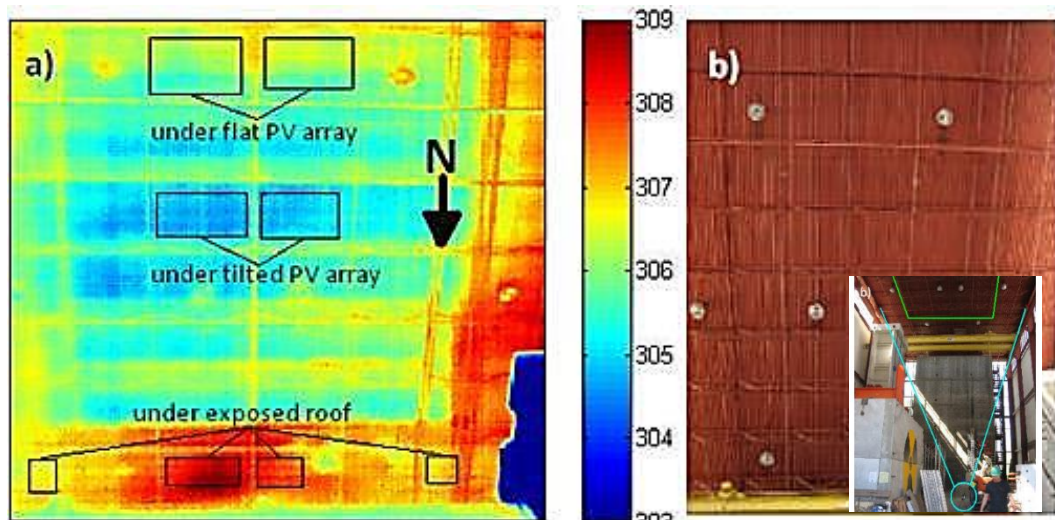


Ilustración 6.4. Imagen infrarroja y fotografía del techo del mismo ángulo. La barra de color indica la temperatura en grados Kelvin. Fuente: Effects of Solar Photovoltaic Panels on Roof Heat Transfer. A. Dominguez, J. Kleissl, & M. Samady, Univ of California, San Diego J. C. Luvall, NASA, Marshall Space Flight Center.

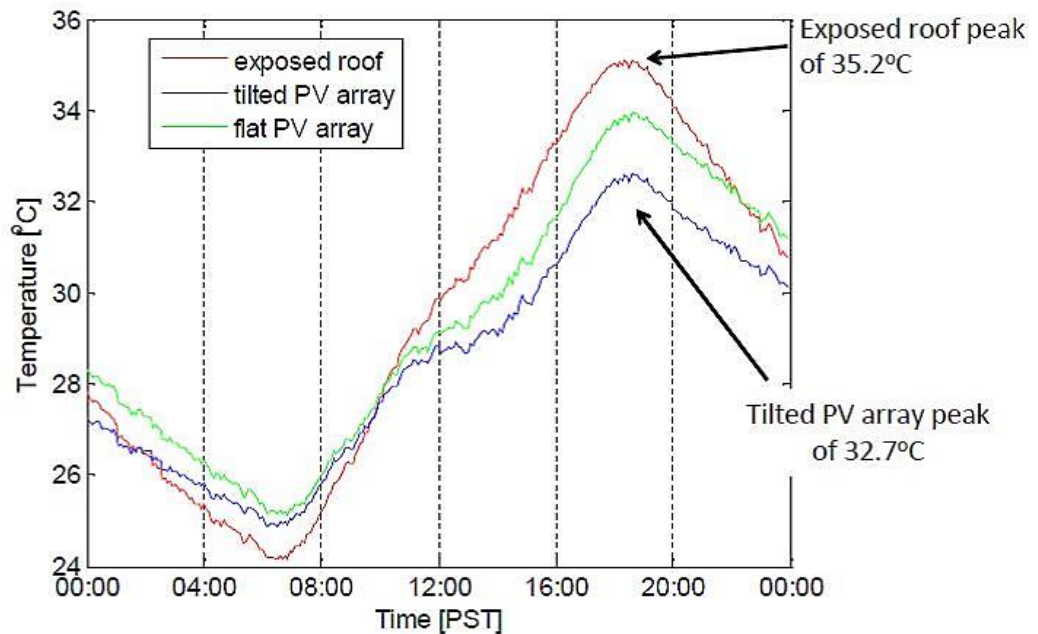


Ilustración 6.5. Perfil comparativo de la temperatura bajo el techo interior bajo las tres condiciones estudiadas. Fuente: Effects of Solar Photovoltaic Panels on Roof Heat Transfer. A. Dominguez, J. Kleissl, & M. Samady, Univ of California, San Diego J. C. Luvall, NASA, Marshall Space Flight Center.

El gráfico anterior indica que el paneles solar instalado de forma plana es mejor aislante en la noche, pero menos aislante durante el día respecto a una instalación inclinada. Esto se debe fundamentalmente al efecto del aire entre el panel y la cubierta, siendo en el día beneficioso para aislar el calor en una superficie inclinada. En ausencia de aire, como sucede en una superficie plana apegada a la cubierta, evita que en la noche se pierda calor desde el interior del recinto.

Como los efectos sobre la cubierta del supermercado aún no han sido medidos, esta Tesina no la considerará como un ingreso de energía ahorrada para el análisis financiero. Pero sí se tendrá en cuenta dentro de los beneficios del sistema.

## 7 ANALISIS DE DATOS

En el presente capítulo se realiza un análisis respecto a las variables tanto de entrada como salida. Se ingresarán como variables de entrada todo lo visto anteriormente para obtener ciertas variables de salidas.

Las tres propuestas estudiadas tienen como consecuencia un ahorro para el supermercado en su vida útil. Puede haber en una propuesta más ahorro que en otra, pero su rentabilidad se determinará considerando el nivel de inversión.

### 7.1 AHORROS Y PROYECCIÓN DEL CONSUMO.

El comportamiento de la demanda de un supermercado es muy parejo de un año a otro, tal como se vio en el capítulo 1. En los últimos años este consumo ha ido decayendo producto de iniciativas de ahorro (control centralizado para gestionar el consumo) o cambios en cargas que consumen menos energía (cambio a iluminación T5 fluorescente), estas han sido pequeñas inversiones que han dado al supermercado posibilidades de ahorro. Se ha de recordar que las cargas de los equipos de clima están en el empalme ubicado en la calle Lago Pihueico, cuyo comportamiento era muy inestable durante el año.

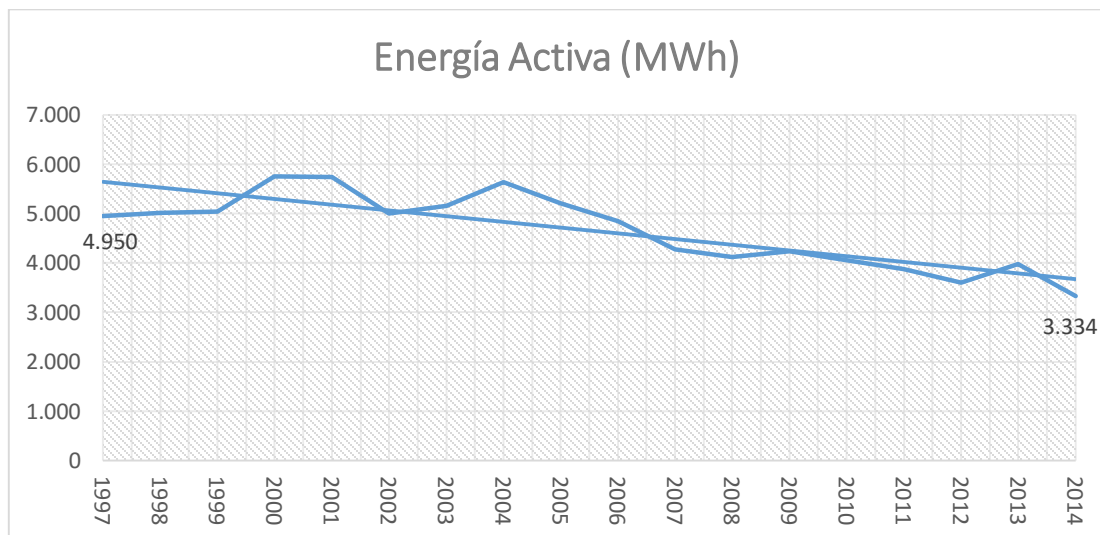


Gráfico 7.1. Consumo de energía supermercado 1997 – 2014. Fuente. Facturas de Chilectra.

Por lo tanto, el supermercado el año 2014 bajó su consumo energético en un 32% respecto al año 1997. En este mismo nivel se espera que el supermercado tenga un ahorro de 24,5 GWh en los próximos 25 años si lleva a cabo el proyecto solar.

## 7.2 ANÁLISIS DE SIMULACIÓN.

Para el presente análisis se consideran las tres empresas con sus respectivos modelos de negocios. En el caso particular de la Empresa 3, como solo se tiene la inversión inicial, se considerará como datos de energía la Empresa 1 y como costos, los de la Empresa 2. Solo se modificará el precio de la energía, que como se dijo, corresponderá siempre a un 10% menos que lo cobrado por la distribuidora.

### 7.2.1 Consideraciones previas

El análisis financiero efectuado consideró los siguientes datos, en períodos mensuales:

- Energía Generada c/degradación (kWh): Corresponde a la energía generada por cada panel, en términos mensuales, incluyendo su degradación.

$$E_{Sij}(kWh/año) = \overline{I_{di}} \cdot N_{di} \cdot A_{pf} \cdot N_{pf} \quad (7.2.1)$$

$$E_{Sj}(kWh/año) = \sum_{i=1}^{12} E_{Sij} \quad (7.2.2)$$

$$E_{PFij}(kWh) = E_{Sij} \cdot \eta_{pf} \cdot R_i \cdot (1 - D_{ij}) \quad (7.2.3)$$

$$E_{PFj}(kWh) = \sum_{i=1}^{12} E_{PFij} \quad (7.2.4)$$

$$E_{PFT}(MWh) = \sum_{j=1}^{25} E_{PFj} \quad (7.2.5)$$

$$I_E(\$) = \sum_{j=1}^{25} \sum_{i=1}^{12} [E_{PFij} \cdot P_{Dij} \cdot P_{Eij}] \quad (7.2.6)$$

$$i = 1 \dots 12; j = 1 \dots 25$$

Donde:

$E_{Sij}(kWh/año)$ = Energía solar global en el mes  $i$ , año  $j$

$E_{Sj}(kWh/año)$ : Energía solar global anual en el año  $j$ .

$E_{PFij}(kWh)$ : Energía eléctrica generada por la planta fotovoltaica en el mes  $i$ , año  $j$

$E_{PFj}(kWh)$ : Energía eléctrica generada por la planta fotovoltaica en el año  $j$ .

$E_{PFT}(kWh)$ : Energía eléctrica generada por la planta fotovoltaica en 25 años

$\overline{I_{di}}$ : Irradiancia solar diaria promedio del mes  $i$ , con  $i = 1 \dots 12$ . Valor no determinístico.

$N_{di}$ = Número de días del mes  $i$

| Mes      | E  | F  | M  | A  | M  | J  | J  | A  | S  | O  | N  | D  |
|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $i$      | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
| $N_{di}$ | 31 | 28 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 |

Tabla 7.1. Números de días de cada mes en el año. Fuente. Elaboración propia

$\eta_{pf}$ = Eficiencia del panel fotovoltaico en condiciones STC. Dato dado por el fabricante e informado en tabla 3.6 y 3.9.

$R_i$ =Rendimiento del panel fotovoltaico en el mes  $i$  según irradiancia y temperatura simulada. Dato dado por el proveedor según software de simulación SOLARGIS e informado en tabla 3.5 y 3.8.

$A_{pf}$ : Área de cada panel fotovoltaico. Informados en la tabla 3.4 y 3.7.

$N_{pf}$ : Número de paneles fotovoltaicos. Informados en la tabla 3.4 y 3.7.

$D_{ij}$ : Degradación del panel fotovoltaico en el mes  $i$  año  $j$ . Dato no determinístico.

$P_{Dij}$ : Precio del dólar (\$/USD): Precio del dólar promedio obtenido según distribución de probabilidades de la tabla 5.11 en el mes  $i$  año  $j$ . Para el precio del dólar se aplican los promedios de los meses marzo y septiembre de cada año.

$P_{Eij}$ : Precio de la energía (USD/MWh): Corresponde al precio de la energía obtenidos según distribución normal con medias muestrales según tabla 5.5 y desviación estándar 0,0405 en el mes  $i$  año  $j$

$I_E$ : Ingreso por energía (\$): Corresponde al producto de la energía generada por la planta fotovoltaica, el precio de la energía del mes y el precio promedio del dólar del mismo mes. Se totaliza en 25 años.

Respecto al costo de O&M, tenemos lo siguiente:

Empresa 1:

$$O\&M_{1j}(\$) = \sum_{i=1}^{12} 1.167 \cdot P_{Dij} \cdot (1 + 0,03)^{j-1} \quad (7.2.7)$$

La fórmula anterior considera un 3% anual de reajuste por IPC.

Empresa 2:

$$O\&M_{2j}(\$) = \sum_{i=1}^{12} 0,015 \cdot P_{Dij} \cdot E_{PFij} \cdot (1 + 0,03)^{j-1} \quad (7.2.8)$$

La fórmula anterior considera un 3% anual de reajuste.

$O\&M_{1j}, O\&M_{2j}$ : Costo O&M (\$) correspondiente a la Empresa 1 y 2 respectivamente.

Respecto a las variables de entrada y salida no determinísticas, para el presente análisis de aclaran las siguientes:

| Variable de entrada                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |   | Variable de salida                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\overline{I_{di}}$ : Irradiancia solar diaria promedio del mes $i$ (kWh/m <sup>2</sup> ).<br>$N_{di}$ : Número de días del mes $i$<br>$A_{pf}$ : Área de cada panel fotovoltaico.<br>$N_{pf}$ : Número de paneles fotovoltaicos.                                                                                                                                       | ➔ | $E_{Sj}$ : Energía solar anual<br>$E_{Sij}$ : Energía solar mensual                                                                                     |
| $E_{Sij}$ : Energía solar mes $i$ (kWh/año)<br>$E_{Sj}$ : Energía solar año $j$ (kWh/año)<br>$\eta_{pf}$ : Eficiencia del panel fotovoltaico en condiciones STC.<br>$R_i$ : Rendimiento del panel fotovoltaico en el mes $i$ según irradiancia y temperatura simulada.<br>$D_{ij}$ : Degradación del panel fotovoltaico en el mes $i$ año $j$ . Dato no determinístico. | ➔ | $E_{PFij}$ : Energía eléctrica mensual generada.<br>$E_{PFj}$ : Energía eléctrica anual generada.<br>$E_{PFT}$ : Energía eléctrica generada en 25 años. |
| $P_{Dij}$ : Precio del dólar (\$/USD) mes $i$ año $j$<br>$P_{Eij}$ : Precio de la energía (USD/MWh) mes $i$ año $j$<br>$E_{PFj}$ : Energía eléctrica generada en el año $j$                                                                                                                                                                                             | ➔ | $I_E$ : Ingreso por energía (\$) en 25 años.<br>$O\&M$ : Costo O&M (\$). (Empresa 2)                                                                    |
| $P_{Dij}$ : Precio del dólar (\$/USD) mes $i$ año $j$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ➔ | $O\&M_{1j}$ : Costo O&M (\$). (Empresa 1)<br>$O\&M_{2j}$ : Costo O&M (\$). (Empresa 2)                                                                  |

Tabla 7.2. Variables de entrada y salida para análisis financiero. Fuente: Elaboración propia.

Para la simulación se usaron número aleatorios según Montecarlo, el tipo de muestro también se consideró Montecarlo. Se realizaron 100 iteraciones.

## 7.2.2 Resultado de la simulación.

A continuación se presentan los resultados esperados de las variables de salida descritas en el apartado anterior.

### a) Energía solar (kWh/año)

La Energía Solar es la energía que dispondrá la planta en su totalidad y no es común para todas las empresas, ya que depende de la superficie ocupada por los paneles, considerando que la potencia instalada para todas es de 600 kW. Por lo tanto, se muestran diferenciadas según empresa. Según fórmula (7.2.1), los resultados del recurso solar son:

| MES        | Energía solar kWh/año Empresa 1 y 3 | Energía solar kWh/año Empresa 2 |
|------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| Enero      | 1.078.550                           | 1.213.108,01                    |
| Febrero    | 860.898                             | 968.302,27                      |
| Marzo      | 768.004                             | 863.818,88                      |
| Abril      | 512.054                             | 575.937,03                      |
| Mayo       | 355.933                             | 400.339,08                      |
| Junio      | 268.164                             | 301.619,40                      |
| Julio      | 324.879                             | 365.410,16                      |
| Agosto     | 395.349                             | 444.671,93                      |
| Septiembre | 545.575                             | 613.639,46                      |
| Octubre    | 746.505                             | 839.637,33                      |
| Noviembre  | 928.170                             | 1.043.967,13                    |
| Diciembre  | 1.080.939                           | 1.215.794,85                    |
| Total año  | $E_S = 7.865.020$                   | $E_S = 8.846.245$               |

Tabla 7.3. Recurso solar estocástico en la ubicación del supermercado. Fuente. Elaboración propia.

Estos resultados son aleatorios según la distribución de probabilidades definidas para su irradiación global diaria promedio, según parámetros de la tabla 5.7 vista anteriormente.

De esta manera, la variable de salida  $E_S$  tendrá comportamiento probabilístico propio del comportamiento en términos mensuales. En efecto, a continuación se muestra la probabilidad de sus valores.

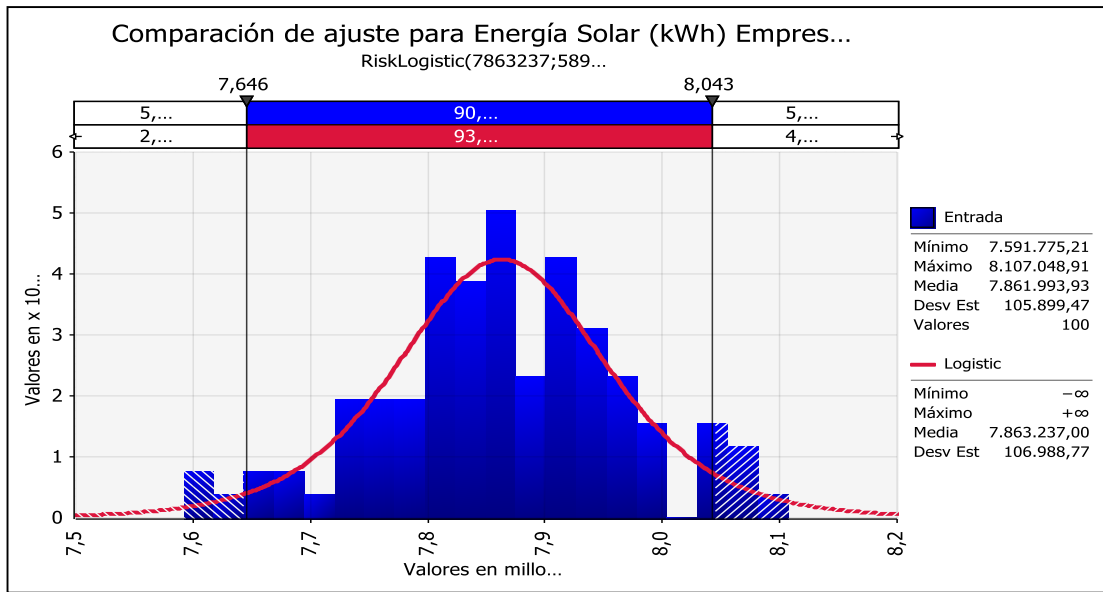


Gráfico 7.2. Densidad de probabilidades para la energía solar disponible Empresa 1 y 3 (asumidos iguales). Fuente. Elaboración propia.

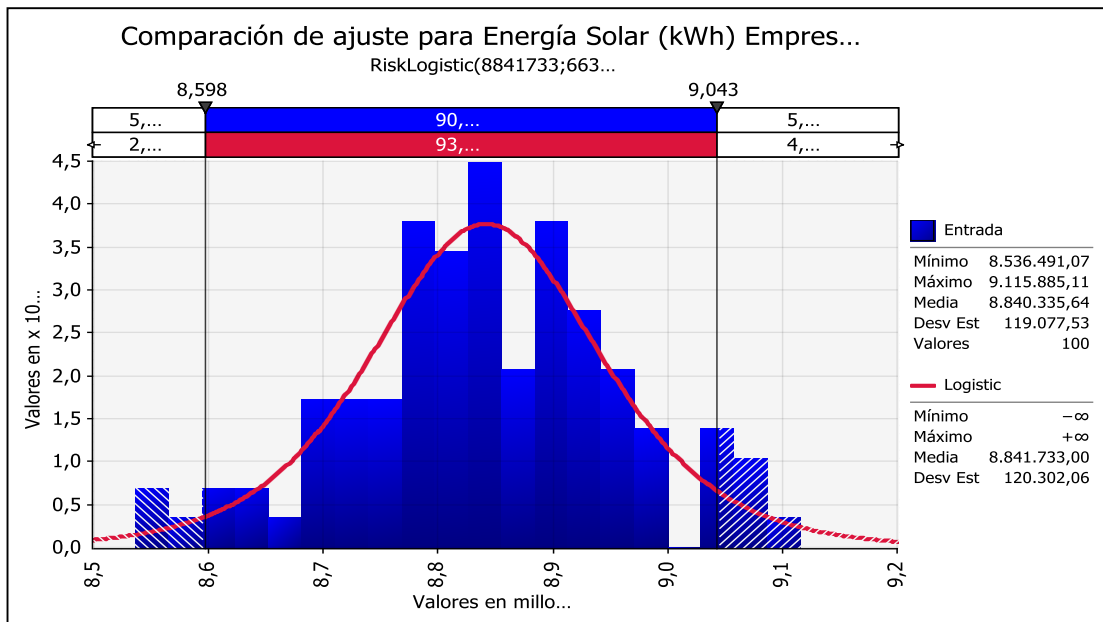


Gráfico 7.3. Densidad de probabilidades para la energía solar disponible Empresa 2. Fuente. Elaboración propia.

Estas dos gráficas tienen la misma forma, y esto se debe a que sus multiplicadores son constantes pero diferentes entre ellas. Por lo tanto, el ajuste es una distribución de probabilidades logística cuyos gráficos están desplazados respecto a su media. Por una parte, la Empresa 1 tiene disponible 7.861.993 kWh

en el año, mientras que la Empresa 2 tiene 8.840.335 kWh, equivalente a un 11,06% más respecto al primero; y esto se debe fundamentalmente a que ésta última ocupa una mayor área, vale decir, 4.333 m<sup>2</sup> respecto a 3.852 m<sup>2</sup>. Se debe hacer notar que estos números no necesariamente concluyen en una mayor generación de energía eléctrica, ya que faltan otros parámetros como la eficiencia y el rendimiento. Un dato que no deja de ser relevante y tiene que ver con lo mencionado anteriormente, la Empresa 1 aporta con un potencia de 158 W/m<sup>2</sup> en comparación a los 138 W/m<sup>2</sup> aportados por la Empresa 2.

Para el caso de la Empresa 3, la energía disponible, bajo los supuestos de esta Tesina, tendrá la misma distribución que la Empresa 1.

b) Energía generada (kWh)

En este caso, la variable de salida a considerar contempla todo el período (25 años). Su cálculo viene dado por la fórmula 7.2.2.

| Año | E. Generada Empresa 1 y 3 (kWh) | E. Generada Empresa 2 (kWh) | Var % | Año          | E. Generada Empresa 1 (kWh) | E. Generada Empresa 2 (kWh) | Var % |
|-----|---------------------------------|-----------------------------|-------|--------------|-----------------------------|-----------------------------|-------|
| 1   | 992.526                         | 1.072.657                   | 5,7%  | 14           | 871.961                     | 969.259                     | 8,6%  |
| 2   | 990.026                         | 1.068.264                   | 5,5%  | 15           | 867.821                     | 986.621                     | 11,2% |
| 3   | 1.017.570                       | 1.095.074                   | 6,4%  | 16           | 864.425                     | 982.355                     | 16,8% |
| 4   | 995.249                         | 1.080.712                   | 6,9%  | 17           | 854.465                     | 995.125                     | 10,5% |
| 5   | 941.812                         | 1.032.399                   | 8,5%  | 18           | 798.973                     | 935.907                     | 16,8% |
| 6   | 956.645                         | 1.034.412                   | 8,3%  | 19           | 829.799                     | 986.878                     | 18,8% |
| 7   | 945.727                         | 1.041.931                   | 8,7%  | 20           | 823.985                     | 938.378                     | 13,6% |
| 8   | 944.904                         | 1.050.704                   | 6,5%  | 21           | 829.303                     | 920.234                     | 16,5% |
| 9   | 934.621                         | 1.041.080                   | 8,9%  | 22           | 786.238                     | 880.017                     | 11,2% |
| 10  | 917.646                         | 1.026.607                   | 8,8%  | 23           | 755.124                     | 887.579                     | 9,0%  |
| 11  | 908.236                         | 989.742                     | 8,3%  | 24           | 789.982                     | 968.322                     | 11,3% |
| 12  | 885.221                         | 995.995                     | 9,6%  | 25           | 760.370                     | 910.003                     | 15,2% |
| 13  | 883.761                         | 1.000.176                   | 4,9%  | <b>Total</b> | <b>22.146.389</b>           | <b>24.890.429</b>           |       |

Tabla 7.4. Energía generada por planta fotovoltaica Empresa 1 y 2. Fuente. Elaboración propia.

Tal como lo indica la tabla 7.2, hay varios factores que influyen en la energía final generada.

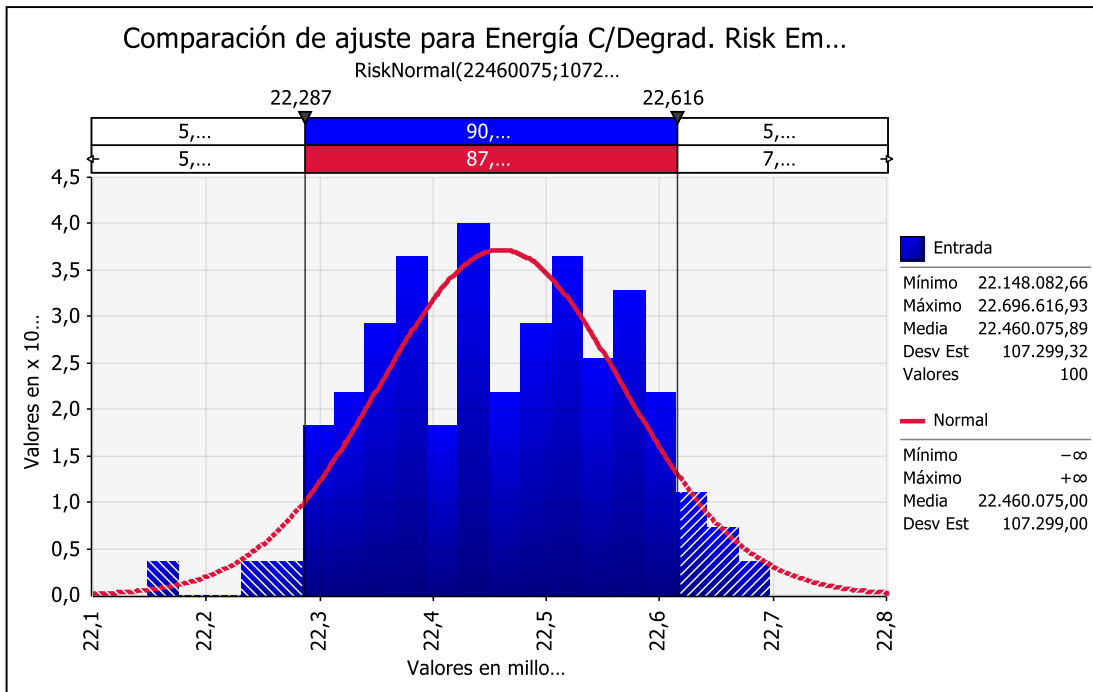


Gráfico 7.4. Densidad de probabilidades de la energía generada según Empresa 1 y 3 (asumidos iguales). Fuente. Elaboración propia.

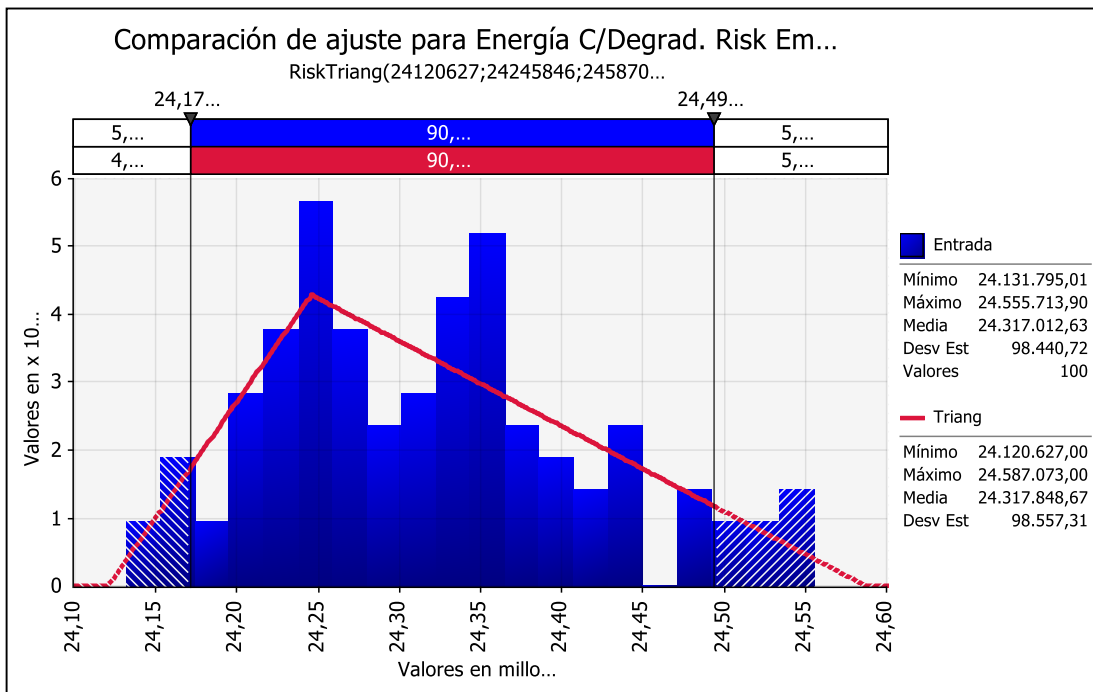


Gráfico 7.5. Densidad de probabilidades de la energía generada según Empresa 2. Fuente. Elaboración propia.

Se puede apreciar que la Empresa 2 genera mayor energía eléctrica que la Empresa 1. Fundamentalmente se debe a que los paneles de la Empresa 2 presentan mayor rendimiento ( $R_i$ ). El siguiente gráfico muestra la diferencia de rendimiento entre paneles de la Empresa 1 y Empresa 2.

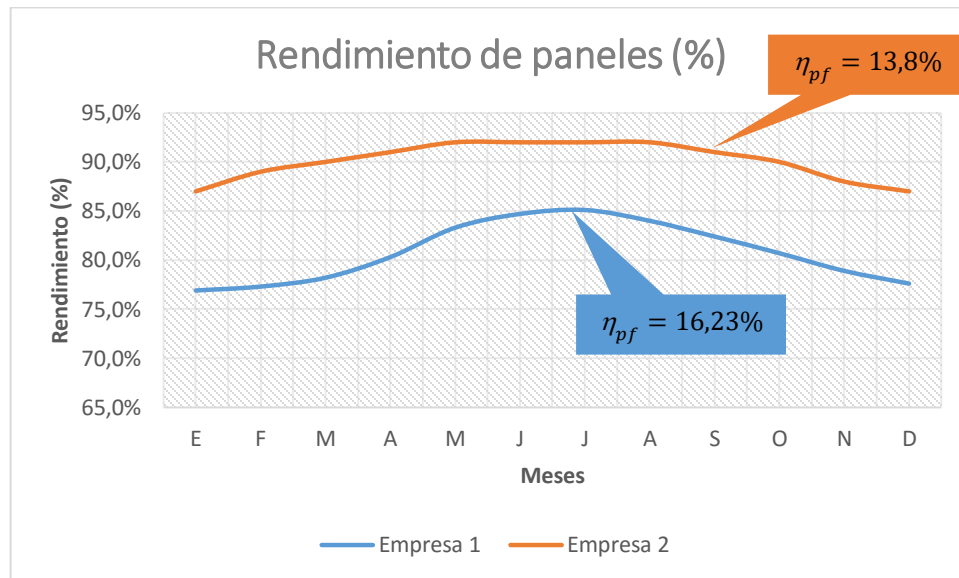


Gráfico 7.6. Rendimiento (%) de paneles fotovoltaicos Empresa 1 vs Empresa 2. Fuente. Elaboración propia.

A pesar que el panel de la Empresa 2 tiene menor eficiencia (según STC), presenta un mejor rendimiento en condiciones de operación. La tecnología CIS cuenta con un coeficiente de temperatura menor, lo cual permite una mayor producción de electricidad bajo condiciones de alta temperatura. Están diseñados para obtener eficiencia de conversión mayor bajo condiciones reales de horas de sol. Expuesta la célula a los rayos solares, por efecto de la irradiación solar la potencia efectiva aumenta en unos porcentajes en comparación con la potencia nominal, lo que contribuye, efectivamente a lo antes expuesto, a un rendimiento estable. Además, la generación de electricidad de estos módulos solares continúa aunque estén sombreados parcialmente<sup>13</sup>.

<sup>13</sup> JASE-W Productos y Tecnologías Japonesas de Punta para el Ahorro Inteligente de Energía

Otro factor que incide en la generación eléctrica es la degradación de los paneles, ya que el panel policristalino presenta una mayor degradación. La literatura indica que los paneles CIS tiene una degradación despreciable, y que afecta mayormente al factor de forma (FF)<sup>14</sup>. Este efecto se va haciendo más notorio al transcurrir los años, ya que el panel policristalino ve afectada su generación por la degradación.

Según los gráficos anteriores, en términos probabilísticos, se tiene que:

$$P_1(22.287 \text{ MWh} < E_{PF} < 22,616 \text{ MWh}) = 90\%$$

$$P_2(24.163 \text{ MWh} < E_{PF} < 24.463 \text{ MWh}) = 90\%$$

Con  $P_1$  y  $P_2$  la probabilidad de la Empresa 1 y 2 respectivamente.

Un punto importante a considerar es que la Empresa 2 garantiza un cierto nivel de producción, que, en virtud de lo visto en capítulos anteriores, es un 98% de la producción simulada por ellos mismos considerado un 0,7% de degradación anual. Los valores garantizados son fijos y se establecen al momento de realizar el contrato. Si el sistema produce menos que el garantizado, la diferencia se paga a precio promedio anual de la energía en moneda nacional.

---

<sup>14</sup> Dirk C. Jordan and Sarah R. Kurtz Photovoltaic Degradation Rates — An Analytical Review. National Renewable Energy Laborat

Al respecto, tenemos la siguiente tabla.

| AÑOS | Energía Gen<br>c/degradació<br>n (kWh) | Energía<br>garantizad<br>a (kWh) | AÑOS  | Energía Gen<br>c/degradació<br>n (kWh) | Energía<br>garantizad<br>a (kWh) |
|------|----------------------------------------|----------------------------------|-------|----------------------------------------|----------------------------------|
| 1    | 1.091.110                              | 979.608                          | 14    | 975.495                                | 894.113                          |
| 2    | 1.097.368                              | 972.751                          | 15    | 998.828                                | 887.855                          |
| 3    | 1.059.323                              | 965.941                          | 16    | 983.728                                | 881.640                          |
| 4    | 1.060.757                              | 959.180                          | 17    | 955.668                                | 875.468                          |
| 5    | 1.087.172                              | 952.466                          | 18    | 955.401                                | 869.340                          |
| 6    | 1.057.157                              | 945.798                          | 19    | 951.047                                | 863.254                          |
| 7    | 1.038.071                              | 939.178                          | 20    | 950.160                                | 857.212                          |
| 8    | 1.044.124                              | 932.604                          | 21    | 942.081                                | 851.211                          |
| 9    | 1.009.321                              | 926.075                          | 22    | 922.903                                | 845.253                          |
| 10   | 994.350                                | 919.593                          | 23    | 904.920                                | 839.336                          |
| 11   | 1.024.569                              | 913.156                          | 24    | 939.017                                | 833.461                          |
| 12   | 997.982                                | 906.764                          | 25    | 931.356                                | 827.626                          |
| 13   | 1.004.685                              | 900.416                          | Total | 24.976.593                             | 22.539.299                       |

Tabla 7.5: Energía generada con degradación vs Energía garantizada Empresa 2. Fuente. Elaboración propia

Respecto a la distribución de probabilidades ajustada, la Empresa 1 para la generación de energía tiene una distribución de probabilidades logística, mientras que para la Empresa 2 es triangular. Respecto a ésta última, se aprecia en el gráfico que su valor más probable no coincide con la media, además está desplazado hacia la izquierda.

$$\text{Valor más probable } E_{PFT} = 24.265.231 \text{ kWh}$$

c) Ingresos futuros por energía ahorrada.

El ahorro obtenido en el consumo eléctrico del supermercado (compra a la distribuidora) está considerado como un ingreso futuro monetario por concepto energía. Los ingresos se registran de manera mensual, los que sumados indican el ingreso anual. La variable de salida a estudiar es el ingreso total por todo el período, es decir, 25 años.

Según fórmula (7.2.4) el ingreso por concepto energía anual de cada empresa es la que sigue, teniendo en consideración que están traídos a valores presente según un valor de inflación del 3% anual.

| Año          | Ingreso por energía Empresa 1 (MM\$) | Ingreso por energía Empresa 2 (MM\$) | Ingreso por energía Empresa 3 (MM\$) |
|--------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1            | \$ 52,29                             | \$ 53,73                             | \$ 52,29                             |
| 2            | \$ 55,88                             | \$ 62,23                             | \$ 55,88                             |
| 3            | \$ 59,19                             | \$ 66,12                             | \$ 59,19                             |
| 4            | \$ 58,68                             | \$ 70,47                             | \$ 58,68                             |
| 5            | \$ 62,98                             | \$ 73,74                             | \$ 62,98                             |
| 6            | \$ 62,26                             | \$ 72,88                             | \$ 62,26                             |
| 7            | \$ 60,49                             | \$ 79,45                             | \$ 60,49                             |
| 8            | \$ 66,09                             | \$ 91,05                             | \$ 66,09                             |
| 9            | \$ 77,03                             | \$ 102,64                            | \$ 77,03                             |
| 10           | \$ 93,35                             | \$ 113,00                            | \$ 93,35                             |
| 11           | \$ 95,00                             | \$ 109,34                            | \$ 95,00                             |
| 12           | \$ 93,85                             | \$ 107,87                            | \$ 93,85                             |
| 13           | \$ 107,48                            | \$ 117,79                            | \$ 107,48                            |
| 14           | \$ 99,74                             | \$ 100,98                            | \$ 99,74                             |
| 15           | \$ 90,41                             | \$ 85,97                             | \$ 90,41                             |
| 16           | \$ 85,48                             | \$ 80,98                             | \$ 85,48                             |
| 17           | \$ 81,76                             | \$ 78,61                             | \$ 81,76                             |
| 18           | \$ 73,82                             | \$ 78,68                             | \$ 73,82                             |
| 19           | \$ 81,78                             | \$ 79,14                             | \$ 81,78                             |
| 20           | \$ 102,97                            | \$ 82,66                             | \$ 102,97                            |
| 21           | \$ 77,92                             | \$ 63,77                             | \$ 77,92                             |
| 22           | \$ 83,08                             | \$ 55,92                             | \$ 83,08                             |
| 23           | \$ 83,14                             | \$ 51,80                             | \$ 83,14                             |
| 24           | \$ 86,30                             | \$ 52,93                             | \$ 86,30                             |
| 25           | \$ 80,86                             | \$ 56,47                             | \$ 80,86                             |
| <b>Total</b> | <b>\$ 1.971</b>                      | <b>\$ 1.988</b>                      | <b>\$ 1.971</b>                      |

Tabla 7.6. Ingresos por energía generada Empresa 1, 2 y 3 traídos a valor presente según IPC. Fuente. Elaboración propia.

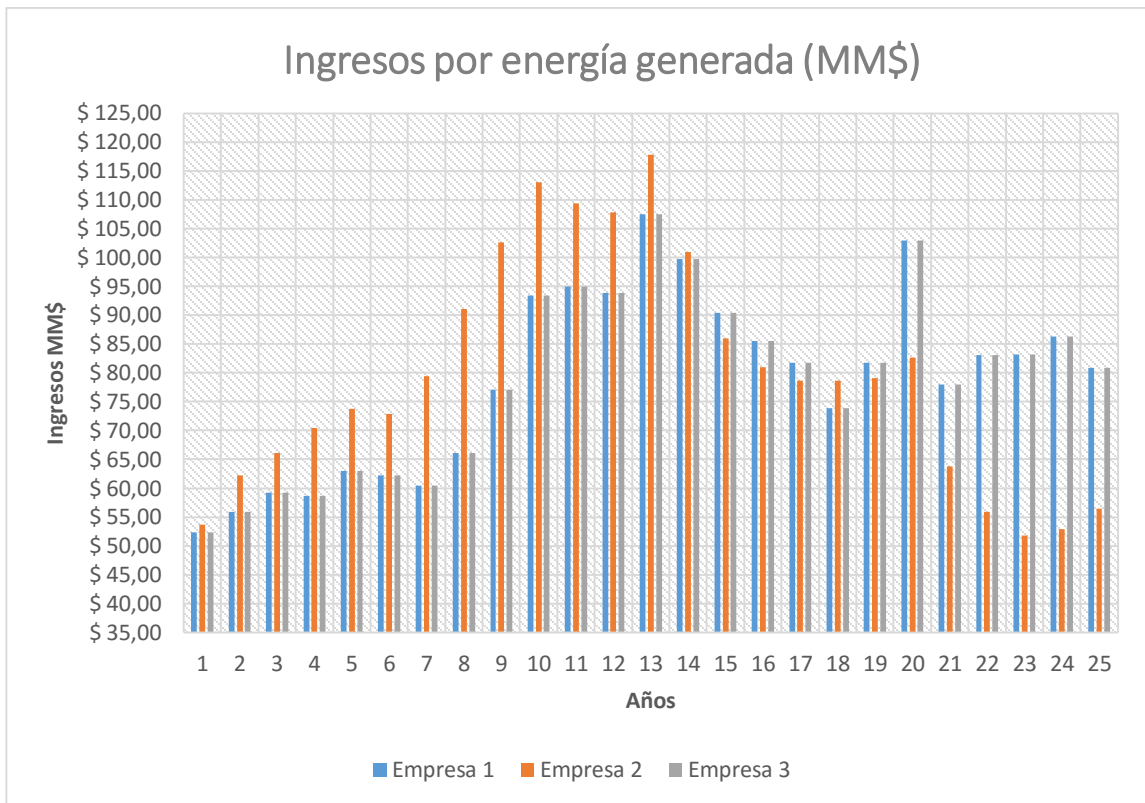


Gráfico 7.7. Ingresos por energía generada Empresa 1, 2 y 3. Fuente. Elaboración propia.

Recordar que los datos son estocásticos, producto de una simulación, por lo tanto, no son fijos.

Los datos revelan que el ingreso por concepto de energía ahorrada es mayor en la Empresa 2 y se debe fundamentalmente por la energía que generan. Las variables de entrada el precio de la energía y el precio del dólar son iguales para ambas empresas en su simulación estocástica.

Para visualizar el comportamiento del precio de la energía y las variaciones del precio del dólar, se muestra la siguiente gráfica:

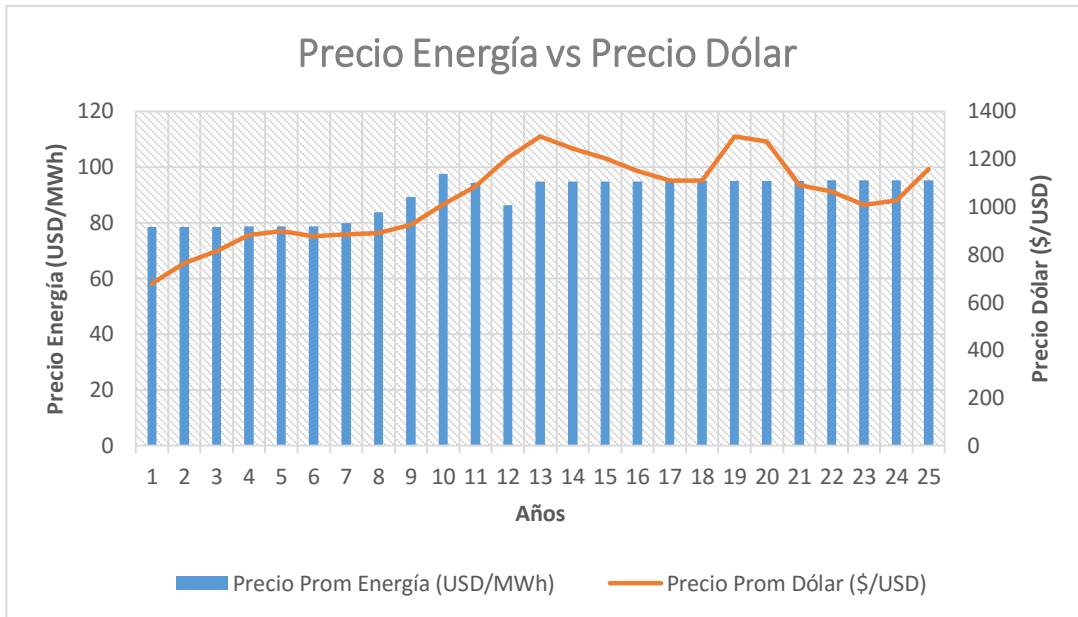


Gráfico 7.8. Comportamiento del precio de la energía simulada para clientes regulados en AT versus el precio del dólar. Fuente. Elaboración propia.

El gráfico muestra la tendencia alcista de precio de estas dos variables, según el modelo que se definió en esta tesina.

Por esta misma razón el ingreso por energía ahorrada es mayor al pasar los años, pero no significa que tenga el mismo valor al año 0, ya que hay que considerar el efecto inflación. De esta manera, si se considera una inflación de un 3%, valor que no es al azar, ya que es la meta que se fija el Banco Central, tenemos que el ingreso al año 0 es un valor actualizado con una tasa de descuento la inflación antes mencionada, es decir, con los datos de la tabla 7.6 tenemos:

$$\text{Ingreso Total Empresa 1 /año 0} = 1.413 \text{ MM\$}$$

$$\text{Ingreso Total Empresa 2 /año 0} = 1.529 \text{ MM\$}$$

$$\text{Ingreso Total Empresa 3 /año 0} = 1.412 \text{ MM\$}$$

Sin embargo, para efectos estocásticos, es necesario mostrar todo el rango posible de valores que puede tomar este ingreso.

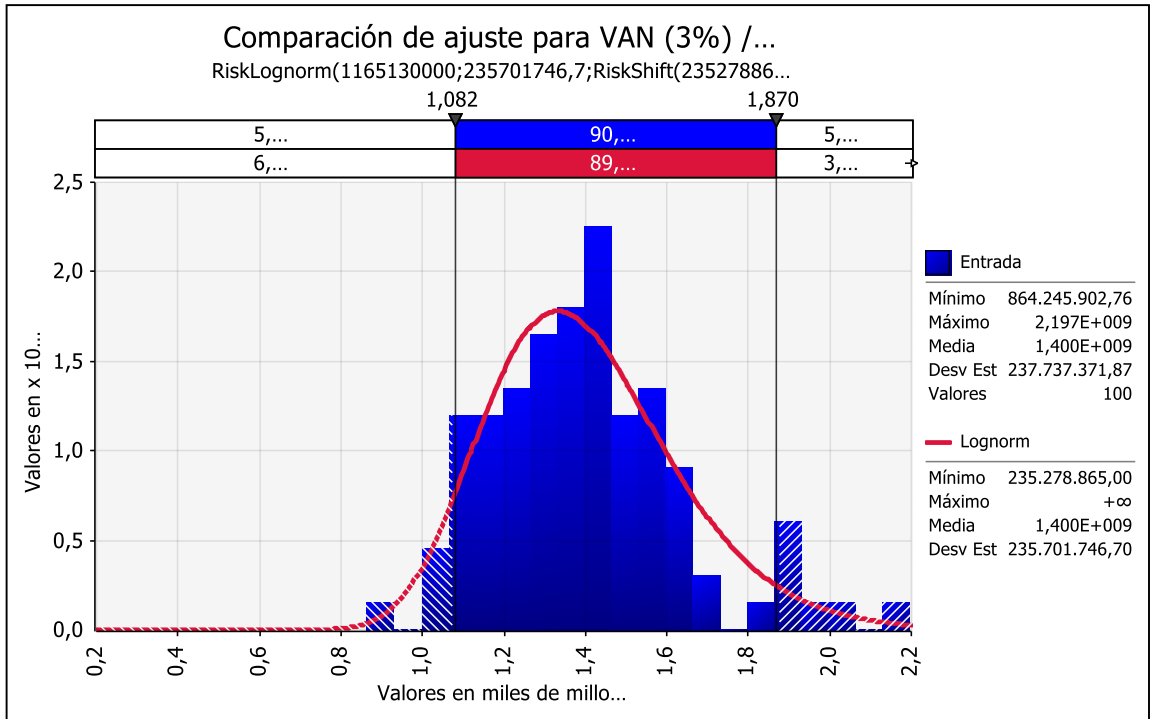


Gráfico 7.9. Densidad de probabilidades de Ingreso futuro traído a valor presente por ahorro de energía, Empresa 1. Fuente. Elaboración propia

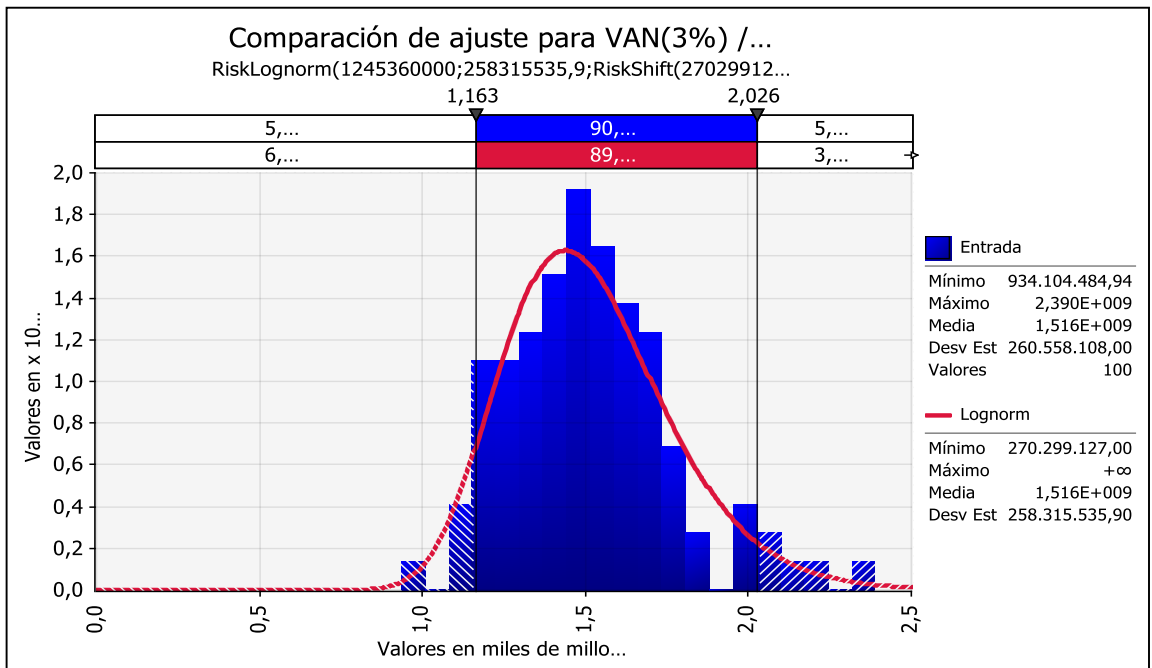


Gráfico 7.10. Densidad de probabilidades de Ingreso futuro traído a valor presente por ahorro de energía, Empresa 2. Fuente. Elaboración propia

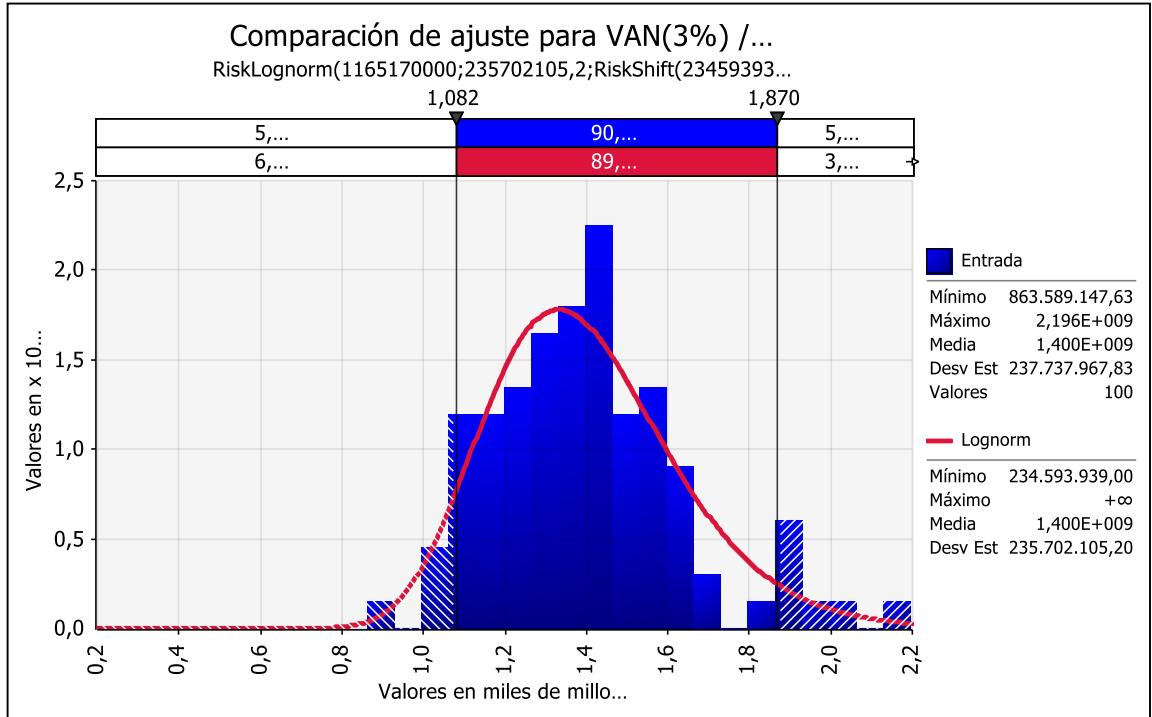


Gráfico 7.11. Densidad de probabilidades de Ingreso futuro traído a valor presente por ahorro de energía, Empresa 3. Fuente. Elaboración propia

$$P_1(1.082 \text{ MM\$} < I_{E0} < 1.870 \text{ MM\$}) \approx 90\%$$

$$P_2(1.163 \text{ MM\$} < I_{E0} < 2.026 \text{ MM\$}) \approx 90\%$$

$$P_3(1.082 \text{ MM\$} < I_{E0} < 1.870 \text{ MM\$}) \approx 90\%$$

$I_{E0}$ : Ingreso total por ahorro de energía a 25 años traídos a valor presente.

En términos generales, la Empresa 2 es la que presenta mayores ingresos.

Las otras, tienen ingresos similares ya que se consideraron como supuestos los mismos paneles.

## 8 ANÁLISIS FINANCIERO.

Visto los datos anteriores, es el momento de presentar el análisis financiero para la Empresa 1 y 2. Dadas las características no determinísticas de las variables de entrada, la TIR obtenida también será un valor no determinístico y, aún más, sus valores estarán dentro de un rango con una cierta probabilidad (distribución de probabilidades).

Previamente se mostrarán los datos relevantes de este análisis:

|           | Inversión (USD) | Depreciación | Tasa de dcto |
|-----------|-----------------|--------------|--------------|
| Empresa 1 | 848.700         | 5 años       | 10%          |
| Empresa 2 | 870.000         | 5 años       | 10%          |
| Empresa 3 | 1.050.000       | 5 años       | 10%          |

Tabla 8.1. Datos relevantes para análisis financiero de la inversión Empresa 1 y 2. Fuente. Elaboración propia

Para los impuestos, tenemos lo siguiente:

| Año  | Impuesto |
|------|----------|
| 2015 | 21,0%    |
| 2016 | 22,5%    |
| 2017 | 24,0%    |
| 2018 | 25,5%    |
| 2019 | 27,0%    |

Tabla 8.2. Impuesto de Primera Categoría. Fuente. SII

Los datos de inversión fueron entregados por cada proveedor y se usa una depreciación acelerada para obtener mejores beneficios fiscales. La tasa de descuento se considera 10% según lo indicado en el Artículo 100 del DFL 1 de 1982 para evaluar proyectos energéticos.

## 8.1 COSTOS

Los costos de O&M con sus reajustes anuales están expresados en las fórmulas 7.2.4 y 7.2.5 para la Empresa 1 y 2 respectivamente. La diferencia entre ambas radica en que la primera es un costo fijo anual y la otra es un costo variable dependiendo de la energía generada. La variabilidad de ambas también estará determinada por el precio del dólar, ya que los precios están expresados en esta moneda.

## 8.2 EVALUACIÓN DEL PROYECTO

Se realiza la evaluación del proyecto puro considerando los valores simulados indicados anteriormente. El resultado de la simulación indicaría que las propuestas no son rentables, ya que sus VAN esperados son:

$$E(VAN)_1 = -62,1 \text{ MM\$}$$

$$E(VAN)_2 = -15,8 \text{ MM\$}$$

$$E(VAN)_3 = -207,0 \text{ MM\$}$$

Esto indica que la inversión a realizar no será recuperada en el futuro mediante los ahorros por menor compra a la distribuidora. En este aspecto, la propuesta de la Empresa 2 se ve más atractiva que la Empresa 1, a pesar de que la inversión de esta última sea mayor en 21.300 USD. El VAN de la Empresa 3 muestra que el proyecto tampoco es rentable para ellos, con los niveles de inversión que tienen.

Los datos indicados anteriormente corresponden al resultado de una simulación, pero no indican la probabilidad de rentabilidad o riesgo.

Los siguientes gráficos muestran el intervalo de confianza y las densidades de probabilidad de los VAN de cada propuesta.

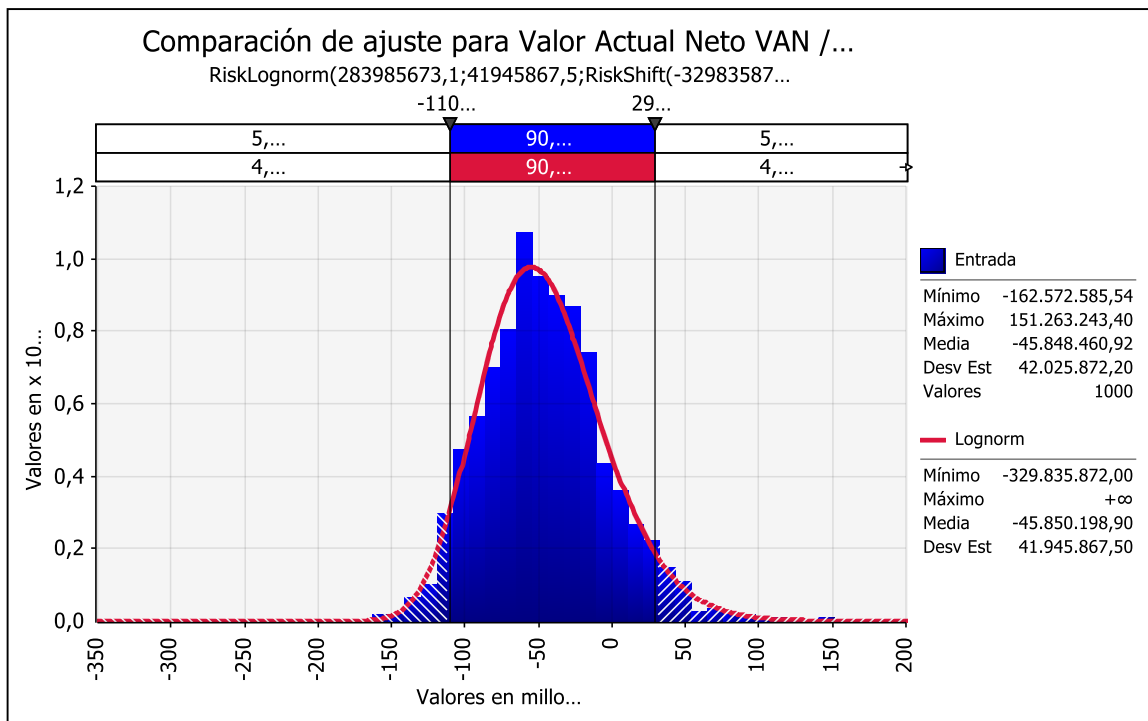


Gráfico 8.1. Densidad de probabilidades VAN proyecto Empresa 1. Fuente. Elaboración propia.

Es interesante hacer notar el gran rango que hay entre valores extremos, incluso el proyecto presenta una desviación estándar cuatro veces mayor a su media, esto indica que los valores están sesgados o presentan una alta dispersión.

Por otro lado:

$$P_1(VAN > 0) = 8,1\%$$

$$P_1(VAN < 0) = 91,9\%$$

Por lo tanto, hay mayor probabilidad que el proyecto no sea rentable.

Así mismo para el caso de la Empresa 2 tenemos:

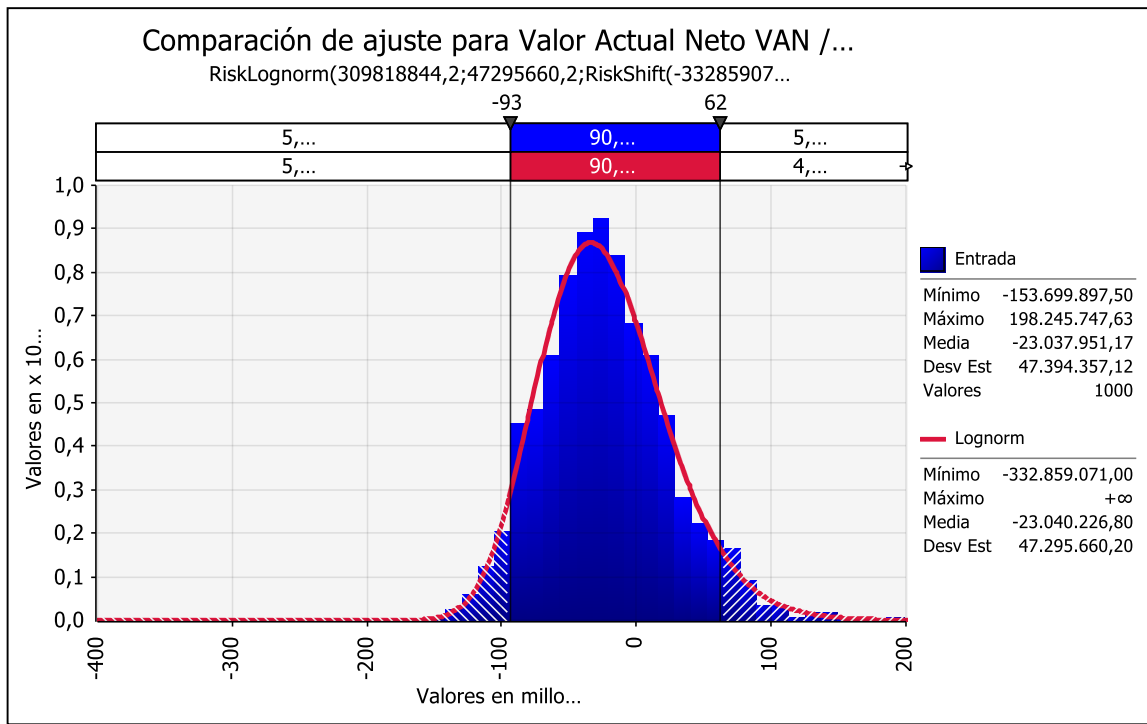


Gráfico 8.2. Densidad de probabilidades VAN proyecto Empresa 2. Fuente. Elaboración propia.

El VAN de este proyecto presenta la misma dispersión que la Empresa 1, dando probabilidad de rentabilidad y no rentabilidad.

$$P_2(VAN > 0) = 34,8\%$$

$$P_2(VAN < 0) = 65,2\%$$

Si se asume el supuesto que la planta fotovoltaica no produce lo esperado por diferentes razones, entra a operar la producción garantizada, donde la Empresa 2 reembolsa la diferencia entre lo realmente producido y lo garantizado. En este caso, el ingreso por energía corresponde efectivamente al garantizado, y en este caso, la densidad de distribución tiene la siguiente forma.

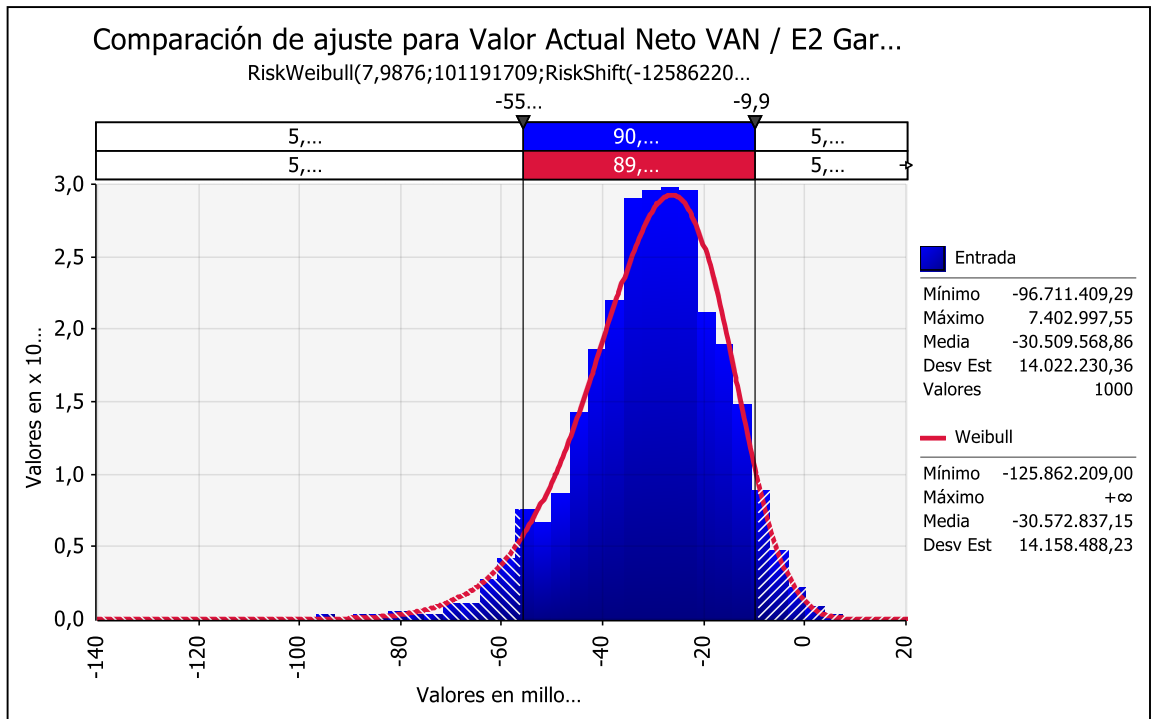


Gráfico 8.3. Densidad de probabilidades VAN proyecto Empresa 2 considerando producción mínima garantizada. Fuente. Elaboración propia.

En este caso, el proyecto no alcanza a ser rentable, ya que la energía garantizada está por debajo de la producción simulada. Por lo tanto, garantizar un cierto nivel de producción no garantiza la rentabilidad del proyecto.

$$P_{2gar}(6,3\% < TIR < 10,5\%) = 90\%$$

Respecto a la Empresa 3, se tiene.

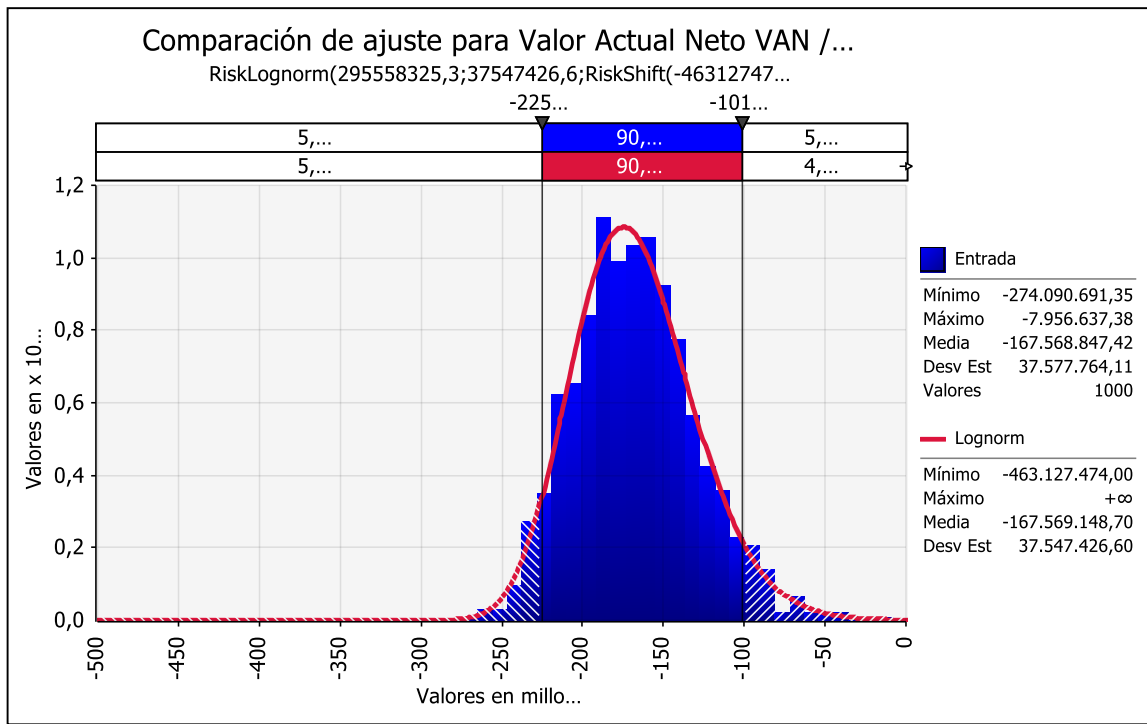


Gráfico 8.4. Densidad de probabilidades VAN proyecto Empresa 3. Fuente: Elaboración propia.

$$P_3(VAN > 0) = 0,0\%$$

$$P_3(VAN < 0) = 100\%$$

En este caso, el proyecto prácticamente no tiene probabilidad de ser rentable, su ajuste corresponde a una distribución triangular.

En términos prácticos, los dos primeros proyectos (Empresa 1 y 2) tienen la posibilidad de ser rentable. Por un lado, realizar el proyecto con la Empresa 1 tiene un 11% de probabilidad de ser rentable, con 0,05 grados de confianza. Por otro, realizar el proyecto con la Empresa 2 tiene un 24% de probabilidades de ser rentable.

Respecto a la TIR (Tasa Interna de Retorno), los valores con los datos simulados anteriormente son:

$$E(TIR)_1 = 8,2\%$$

$$E(TIR)_2 = 9,5\%$$

$$E(TIR)_3 = 5,0\%$$

Los datos anteriores, indican que, con los datos simulados, la TIR de los proyectos Empresa 1 y Empresa 2 son más altos que la Empresa 3, sin embargo, no son valores atractivos en comparación con las inversiones realizadas en el mercado inmobiliario del retail que es sobre el 10%. La TIR más baja se presenta en la Empresa 3, debido a los factores como el rendimiento de los paneles solares y el ingreso por concepto de venta de energía (precio de la energía 10% por debajo de lo cobrado por la distribuidora).

Los valores anteriores son producto de la simulación desarrollada, pero no son únicos, pues también están sujetos a variables de entrada estocásticas.

De esta manera, tenemos las siguientes densidades de probabilidad.

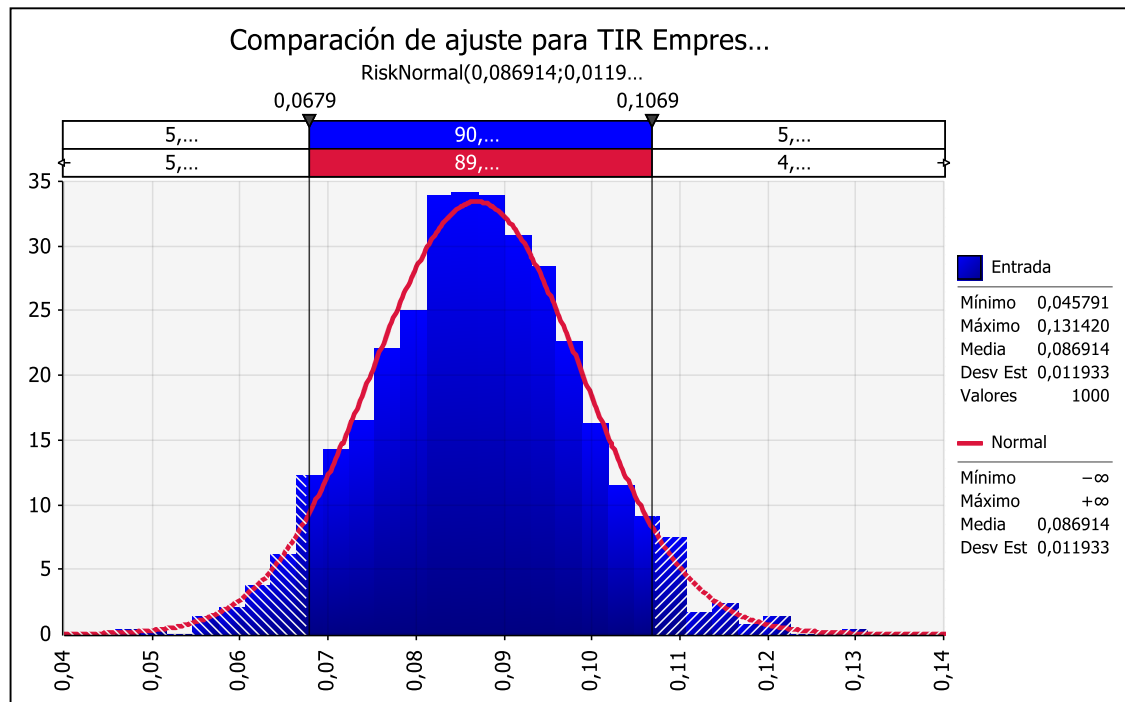


Gráfico 8.5. Densidad de probabilidades TIR proyecto Empresa 1. Fuente. Elaboración propia.

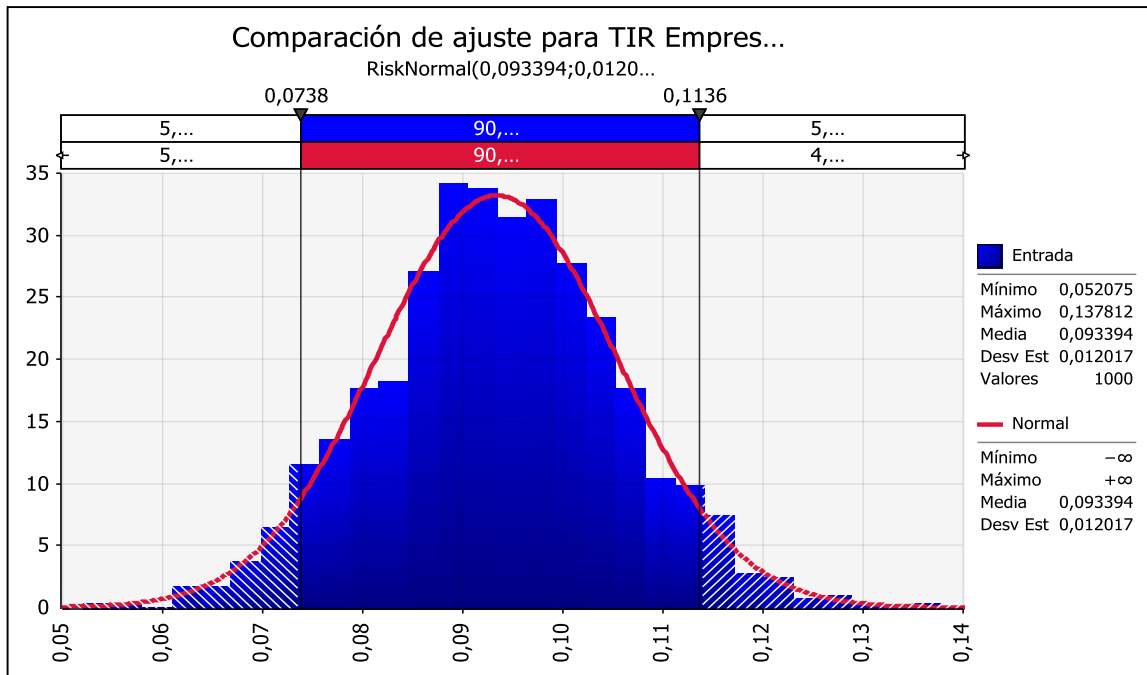


Gráfico 8.6. Densidad de probabilidades TIR proyecto Empresa 2. Fuente. Elaboración propia.

Al igual que el caso anterior, si se considera la producción garantizada, se tiene la siguiente función de densidad.

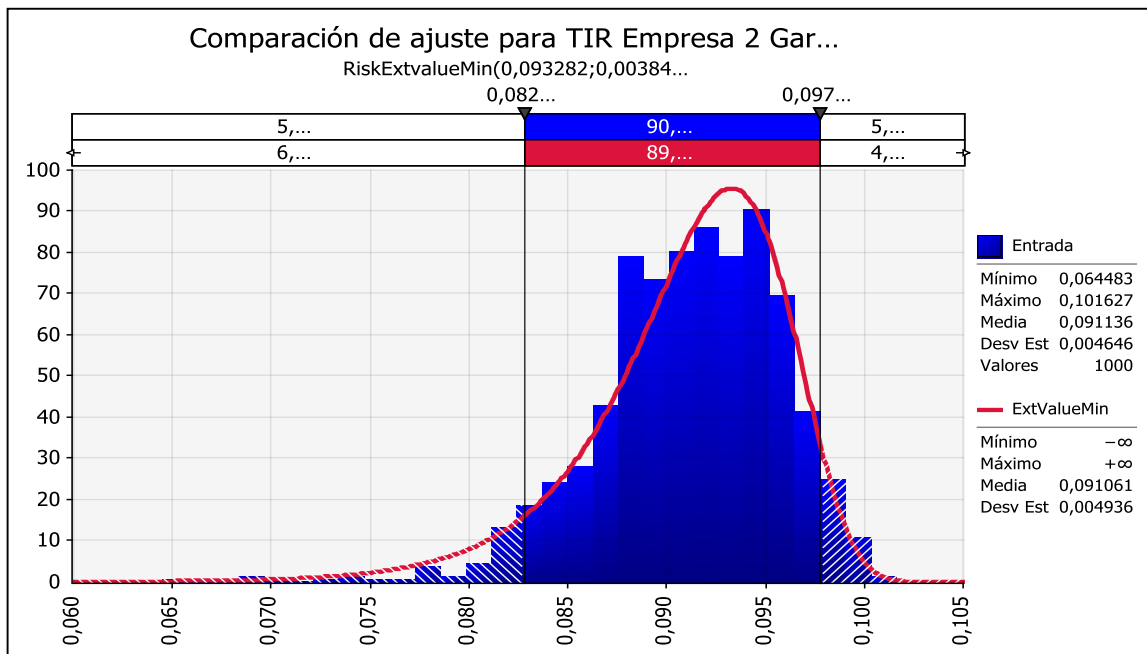


Gráfico 8.7. Densidad de probabilidades TIR proyecto Empresa 2 considerando producción mínima garantizada. Fuente. Elaboración propia.

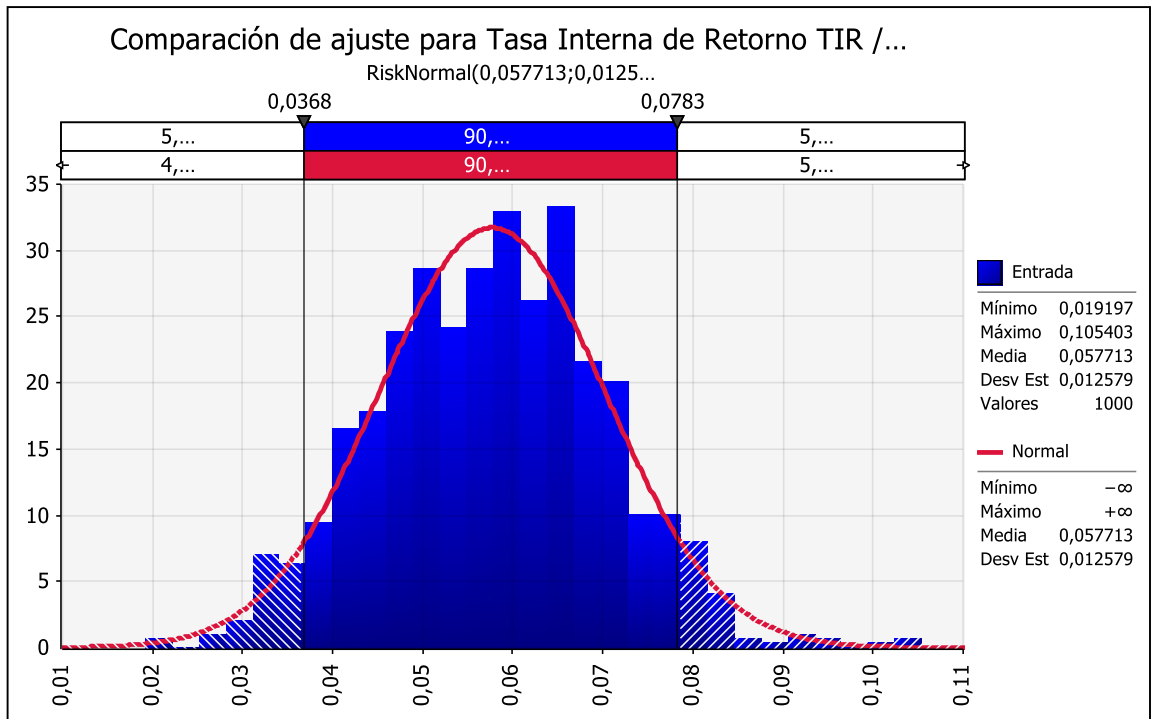


Gráfico 8.8. Densidad de probabilidades TIR proyecto Empresa 3. Fuente. Elaboración propia.

Los gráficos 8.5 y 8.6 correspondiente a la Empresa 1 y 2 respectivamente, tienen una distribución muy similar, es decir, sus probabilidades de alcanzar cierto valor lo son. Esto indica que ambas tienen casi los mismos riesgos de tener TIR atractivas.

$$P_1(6,79\% < TIR_1 < 10,69\%) \approx 90\%$$

$$P_2(7,38\% < TIR_2 < 11,36\%) \approx 90\%$$

$$P_3(3,68\% < TIR_3 < 7,83\%) \approx 90\%$$

Respecto a la producción garantizada de la Empresa 2 se tiene:

$$P_{2gar}(6,3\% < TIR < 10,5\%) = 90\%$$

Al respecto, tener una producción mínima garantizada, aumenta la variabilidad de la TIR, es decir, el rango del intervalo de confianza, con 90%

de probabilidad, es mayor que el rango del intervalo de confianza con producción simulada.

$$\text{Rango } P_2 = 3,98$$

$$\text{Rango } P_{2,\text{garantizada}} = 4,20$$

Por lo tanto, garantizar la producción hace más confiable la decisión de una futura inversión, a pesar de que no garantice la rentabilidad (VAN).

La TIR de la Empresa 3 es menos atractiva, ya que su intervalo de confianza abarca, con 90% de probabilidad, valores menores en comparación a los otros, sin embargo, se intersecta con el intervalo de confianza de la TIR de la Empresa 2.

Nuevamente el factor rendimiento, generación de energía e inversión juegan un papel relevante en la rentabilidad del proyecto.

### 8.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El presente capítulo pretende realizar un análisis de sensibilidad sobre dos variables importantes, una de ellas es la Inversión Inicial y la otra es el costo de O&M.

Sobre la inversión inicial se realizaron cambios de tal manera de obtener un VAN positivo, es decir, garantizar con un 0,05 grado de confianza que existe un 90% de tener un proyecto rentable. Para este fin se usó la herramienta de Análisis Avanzado de @Risk.

Para la Empresa 1 tenemos lo siguiente:

| Análisis | Inversión USD | VAN MM\$  |            |           |           |           |            |           |
|----------|---------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
|          |               | Media     | Mín        | Máx       | Moda      | Mediana   | 5%         | 95%       |
| -20,00%  | \$ 678.960    | \$ 61,09  | -\$ 39,73  | \$ 189,44 | \$ 45,86  | \$ 60,25  | -\$ 14,03  | \$ 128,01 |
| -15,00%  | \$ 721.395    | \$ 34,31  | -\$ 66,51  | \$ 162,66 | \$ 19,08  | \$ 33,47  | -\$ 40,81  | \$ 101,23 |
| -10,00%  | \$ 763.830    | \$ 7,53   | -\$ 93,29  | \$ 135,88 | -\$ 7,70  | \$ 6,69   | -\$ 67,59  | \$ 74,45  |
| -5,00%   | \$ 806.265    | -\$ 19,25 | -\$ 120,07 | \$ 109,10 | -\$ 34,48 | -\$ 20,08 | -\$ 94,37  | \$ 47,67  |
| +0,00%   | \$ 848.700    | -\$ 46,03 | -\$ 146,85 | \$ 82,32  | -\$ 61,26 | -\$ 46,86 | -\$ 121,15 | \$ 20,90  |

Tabla 8.3. Análisis de sensibilidad del VAN sobre la Inversión Inicial Empresa 1. Fuente. Elaboración propia

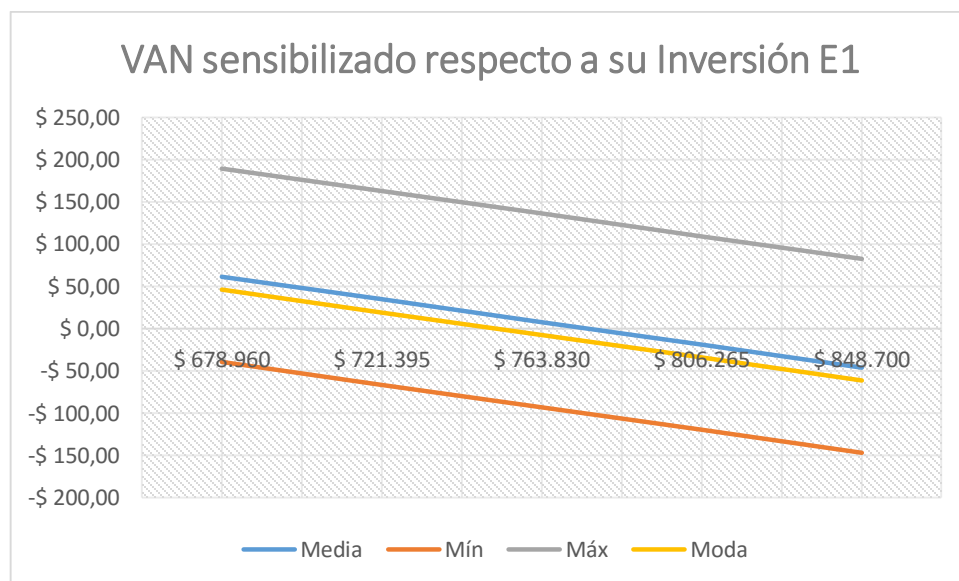


Gráfico 8.9. Movilidad del VAN al variar la Inversión Inicial Empresa 1. Fuente. Elaboración propia.

Con este análisis se desprende que con una inversión inicial un 20% por debajo de la presupuestada el proyecto comenzaría a ser rentable aproximadamente con un 90% de probabilidad, lo que indica que los precios de la tecnología fotovoltaica en Chile todavía no bajan lo suficiente. Una solución para este tipo de proyectos sería un subsidio.

Para la Empresa 2 tenemos el mismo análisis.

| Análisis | Inversión USD | VAN \$MM  |            |           |           |           |           |           |
|----------|---------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|          |               | Media     | Mín        | Máx       | Moda      | Mediana   | 5%        | 95%       |
| -20,00%  | \$ 696.000    | \$ 86,22  | -\$ 7,31   | \$ 232,77 | \$ 53,38  | \$ 79,33  | \$ 16,21  | \$ 165,45 |
| -15,00%  | \$ 739.500    | \$ 58,77  | -\$ 34,76  | \$ 205,32 | \$ 25,93  | \$ 51,88  | -\$ 11,24 | \$ 138,00 |
| -10,00%  | \$ 783.000    | \$ 31,32  | -\$ 62,21  | \$ 177,87 | -\$ 1,52  | \$ 24,43  | -\$ 38,69 | \$ 110,55 |
| -5,00%   | \$ 826.500    | \$ 3,86   | -\$ 89,67  | \$ 150,42 | -\$ 28,97 | -\$ 3,02  | -\$ 66,14 | \$ 83,09  |
| 0,00%    | \$ 870.000    | -\$ 23,59 | -\$ 117,12 | \$ 122,97 | -\$ 56,43 | -\$ 30,47 | -\$ 93,59 | \$ 55,64  |

Tabla 8.4. Análisis de sensibilidad del VAN sobre la Inversión Inicial Empresa 2. Fuente. Elaboración propia

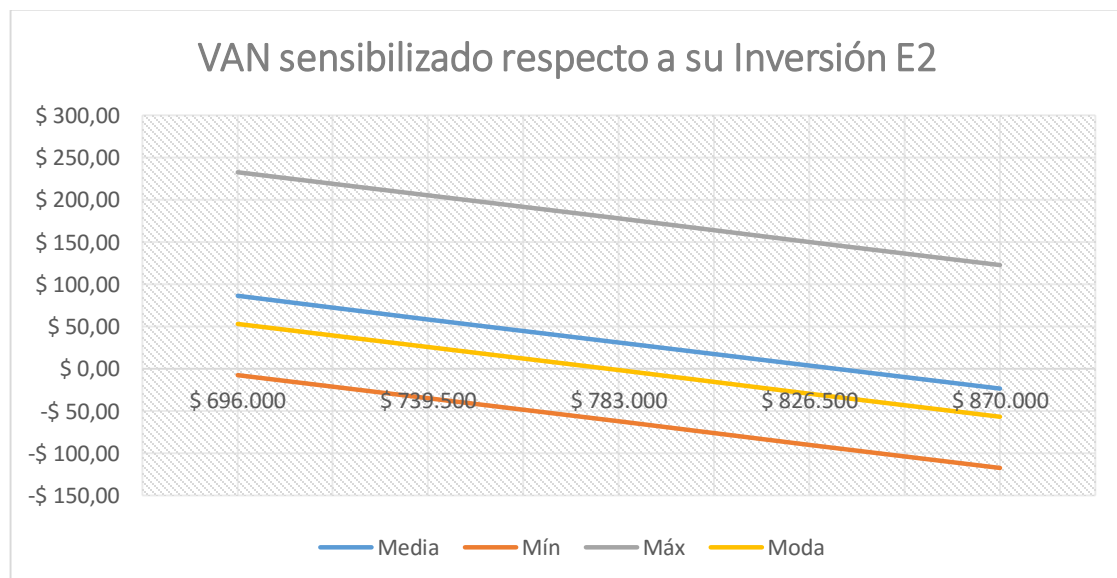


Gráfico 8.10. Movilidad del VAN al variar la Inversión Inicial Empresa 2. Fuente. Elaboración propia

Ya en este caso, con una disminución de un 20% sobre la Inversión Inicial presupuestada el proyecto es rentable con un 90% de probabilidad.

La Empresa 3 debido a su alta inversión inicial, no permite garantizar con el VAN promedio que el proyecto se rentabilice.

| Análisis | Inversión USD | VAN \$MM   |            |           |            |            |            |           |
|----------|---------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|-----------|
|          |               | Media      | Mín        | Máx       | Moda       | Mediana    | 5%         | 95%       |
| -20,00%  | \$ 840.000    | -\$ 34,53  | -\$ 103,24 | \$ 93,88  | -\$ 25,48  | -\$ 36,94  | -\$ 96,71  | \$ 38,64  |
| -15,00%  | \$ 892.500    | -\$ 67,66  | -\$ 136,37 | \$ 60,75  | -\$ 58,61  | -\$ 70,07  | -\$ 129,84 | \$ 5,50   |
| -10,00%  | \$ 945.000    | -\$ 100,79 | -\$ 169,50 | \$ 27,62  | -\$ 91,74  | -\$ 103,20 | -\$ 162,97 | -\$ 27,63 |
| -5,00%   | \$ 997.500    | -\$ 133,92 | -\$ 202,63 | -\$ 5,51  | -\$ 124,87 | -\$ 136,33 | -\$ 196,10 | -\$ 60,76 |
| +0,00%   | \$ 1.050.000  | -\$ 167,05 | -\$ 235,76 | -\$ 38,64 | -\$ 158,00 | -\$ 169,46 | -\$ 229,23 | -\$ 93,89 |

Tabla 8.5. Análisis de sensibilidad del VAN sobre la Inversión Inicial Empresa 3. Fuente. Elaboración propia

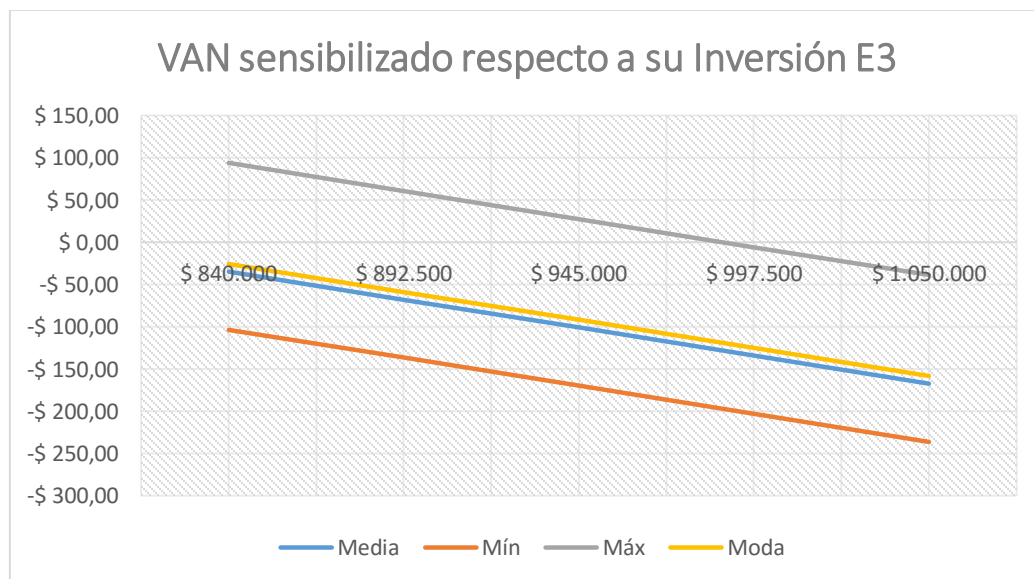


Gráfico 8.11. Movilidad del VAN al variar la Inversión Inicial Empresa 3. Fuente. Elaboración propia

En este caso, para que el modelo de negocio presentado por la Empresa 3 sea rentable para ellos, el nivel de inversión se debería bajar en un 20%, lo cual para una empresa no es factible. Pero sí sería factible que el 20% sea asumido por el supermercado, así, el retorno sería por concepto de un 10% de la energía generada (ya que el supermercado compra al 90% del precio de la distribuidora).

De esta manera, la VAN del proyecto para el supermercado tiene la siguiente distribución de densidad de probabilidades.

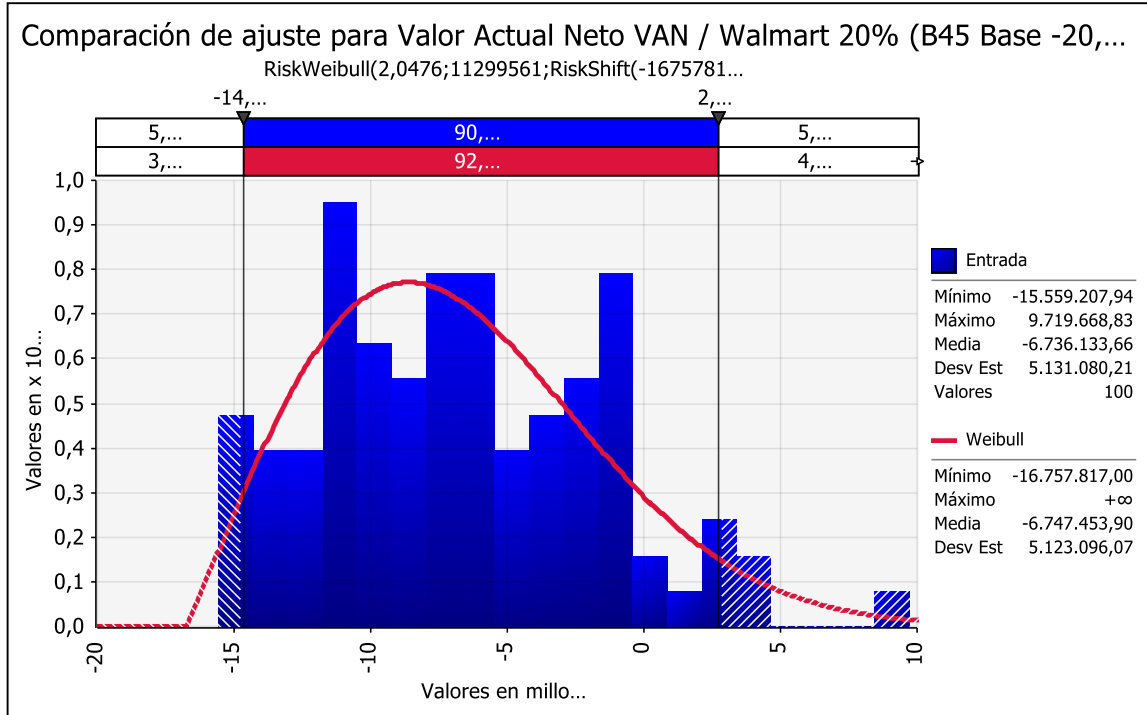


Gráfico 8.12. Densidad de probabilidades VAN del supermercado asumiendo el 20% de inversión de la Empresa 3. Fuente. Elaboración propia.

$$P_{\text{supermercado}}(-14,67 \text{ MM\$} < VAN_{\text{superm}} < -2,72 \text{ MM\$}) \approx 90\%$$

En este caso, y en estos términos, el proyecto no es rentable para el supermercado.

Respecto a la TIR del proyecto de la Empresa 1, tenemos lo siguiente:

| Análisis | Inversión USD | TIR (%) |       |        |        |         |        |        |
|----------|---------------|---------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|
|          |               | Media   | Mín   | Máx    | Moda   | Mediana | 5%     | 95%    |
| -20,00%  | \$ 678.960    | 11,90%  | 8,53% | 15,44% | 13,16% | 11,80%  | 10,01% | 13,49% |
| -15,00%  | \$ 721.395    | 10,97%  | 7,59% | 14,55% | 10,86% | 10,86%  | 9,05%  | 12,47% |
| -10,00%  | \$ 763.830    | 10,13%  | 6,74% | 13,75% | 10,58% | 10,03%  | 8,18%  | 11,63% |
| -5,00%   | \$ 806.265    | 9,38%   | 5,98% | 13,02% | 9,88%  | 9,26%   | 7,46%  | 10,87% |
| +0,00%   | \$ 848.700    | 8,69%   | 5,28% | 12,35% | 8,37%  | 8,55%   | 6,83%  | 10,18% |

Tabla 8.6. Análisis de sensibilidad de la TIR sobre la Inversión Inicial Empresa 1. Fuente. Elaboración propia

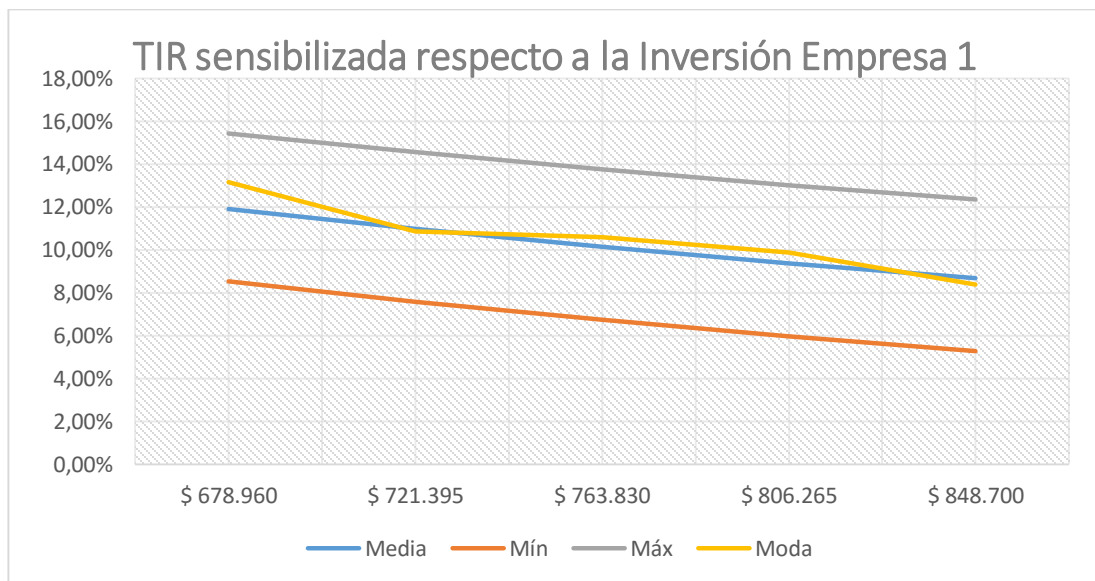


Gráfico 8.13. Movilidad de la TIR al variar la Inversión Inicial Empresa 1. Fuente. Elaboración propia

Si el monto de la inversión baja en un 20% según el modelo de negocio de la Empresa 1, resulta en un proyecto con una TIR medianamente atractiva para el mercado inmobiliario del retail, ya que su valor podría rondar, con un 90% de probabilidad, entre 10,01% y 13,49%.

| Análisis | Inversión USD | TIR (%) |       |        |        |         |        |        |
|----------|---------------|---------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|
|          |               | Media   | Mín   | Máx    | Moda   | Mediana | 5%     | 95%    |
| -20,00%  | \$ 696.000    | 12,53%  | 9,63% | 16,03% | 12,01% | 12,54%  | 10,30% | 14,58% |
| -15,00%  | \$ 739.500    | 11,61%  | 8,71% | 15,15% | 13,23% | 11,61%  | 9,41%  | 13,60% |
| -10,00%  | \$ 783.000    | 10,78%  | 7,88% | 14,35% | 11,66% | 10,77%  | 8,61%  | 12,73% |
| -5,00%   | \$ 826.500    | 10,03%  | 7,14% | 13,63% | 9,46%  | 10,00%  | 7,84%  | 11,94% |
| 0,00%    | \$ 870.000    | 9,35%   | 6,45% | 12,97% | 8,77%  | 9,30%   | 7,18%  | 11,23% |

Tabla 8.7. Análisis de sensibilidad de la TIR sobre la Inversión Inicial Empresa 2. Fuente. Elaboración propia

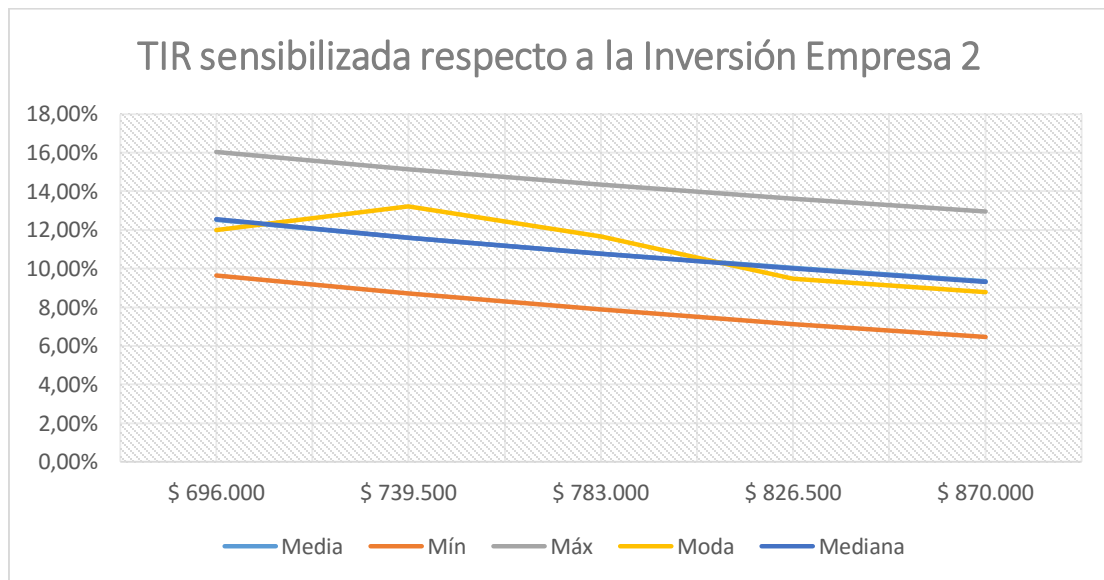


Gráfico 8.14. Movilidad de la TIR al variar la Inversión Inicial Empresa 2. Fuente. Elaboración propia

Si el monto de la inversión baja en un 20% según el modelo de negocio de la Empresa 2, resulta en un proyecto con una TIR más atractiva para el mercado inmobiliario del retail, siempre mayor respecto a la Empresa 1, ya que su valor podría rondar, con un 90% de probabilidad, entre 10,30% y 14,58%.

| Análisis | Inversión USD | TIR (%) |       |        |       |         |       |        |
|----------|---------------|---------|-------|--------|-------|---------|-------|--------|
|          |               | Media   | Mín   | Máx    | Moda  | Mediana | 5%    | 95%    |
| -20,00%  | \$ 840.000    | 8,82%   | 6,27% | 11,81% | 9,04% | 8,76%   | 6,75% | 11,07% |
| -15,00%  | \$ 892.500    | 7,93%   | 5,39% | 10,90% | 8,16% | 7,91%   | 5,90% | 10,17% |
| -10,00%  | \$ 945.000    | 7,13%   | 4,59% | 10,08% | 7,30% | 7,11%   | 5,09% | 9,35%  |
| -5,00%   | \$ 997.500    | 6,39%   | 3,87% | 9,32%  | 6,21% | 6,36%   | 4,35% | 8,60%  |
| 0,00%    | \$ 1.050.000  | 5,72%   | 3,20% | 8,63%  | 5,50% | 5,71%   | 3,67% | 7,94%  |

Tabla 8.8. Análisis de sensibilidad de la TIR sobre la Inversión Inicial Empresa 3. Fuente. Elaboración propia

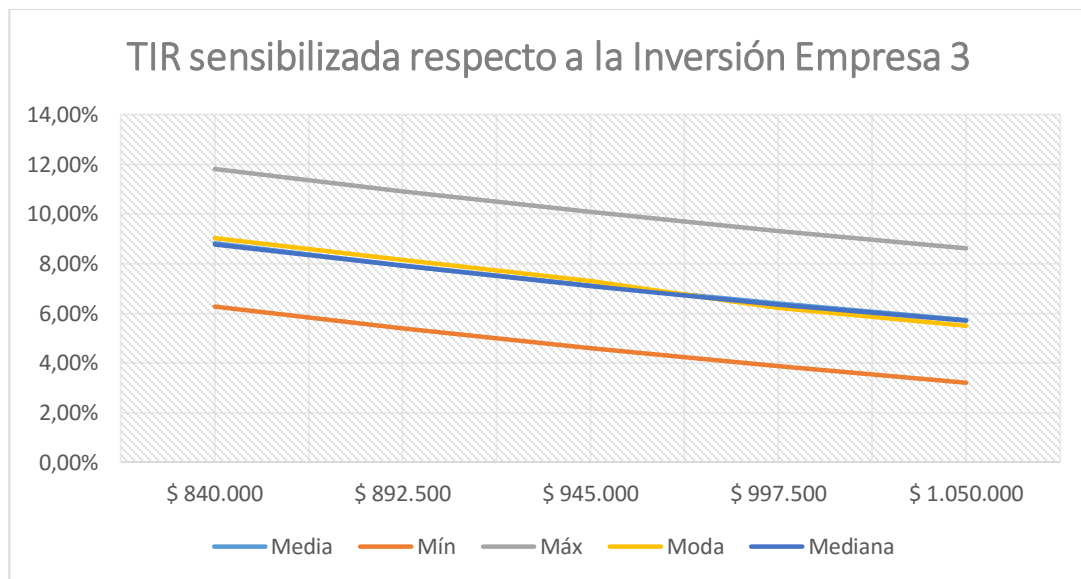


Gráfico 8.15. Movilidad de la TIR al variar la Inversión Inicial Empresa 3. Fuente. Elaboración propia.

Si el monto de la inversión baja en un 20% según el modelo de negocio de la Empresa 3, resulta en un proyecto con una TIR no muy atractiva para el mercado inmobiliario del retail, ya que su valor podría rondar, con un 90% de probabilidad, entre 6,91% y 10,99%.

En este mismo caso, si se plantea el supuesto que el supermercado asume el 20% de la inversión, se tiene la siguiente distribución de densidad de probabilidades.

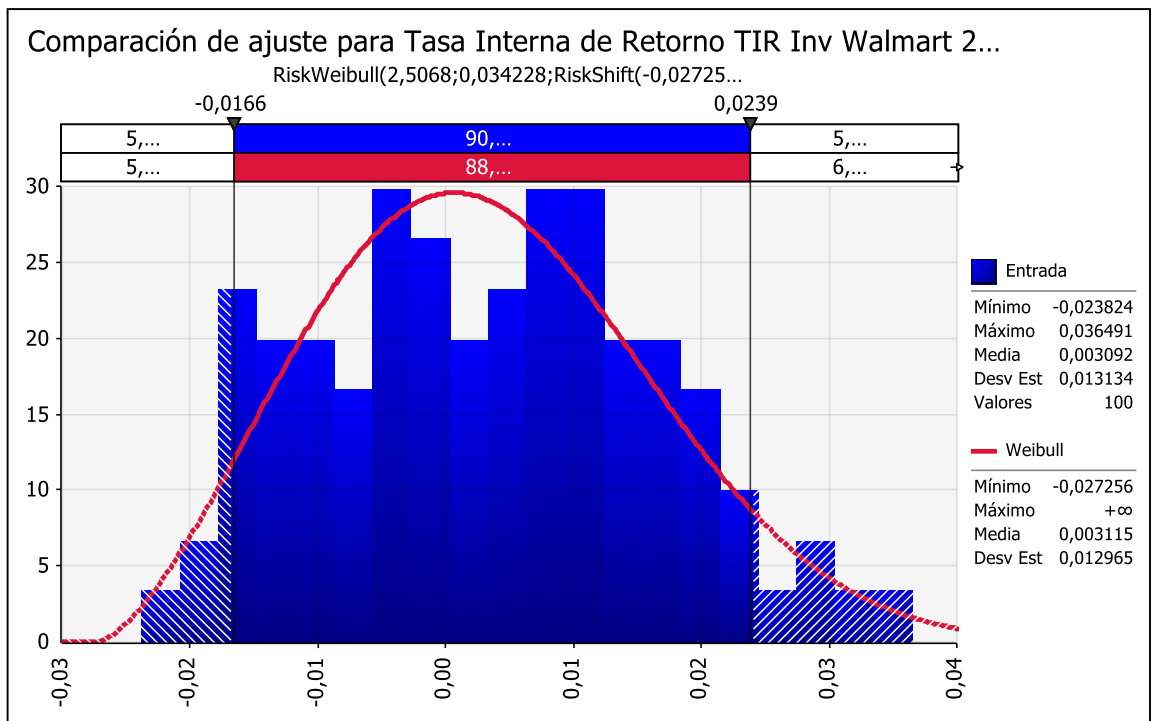


Gráfico 8.16. Densidad de probabilidades TIR del supermercado asumiendo el 20% de inversión de la Empresa 3. Fuente. Elaboración propia.

En este caso, para el supermercado resulta no rentable, ya que la TIR no cumple con las expectativas de inversión del supermercado. Su TIR es muy baja con cierta probabilidad que sea negativa.

Si el supermercado decidiera asumir incluso el 10%, podría ser más atractivo, sin embargo, dejaría de serlo para la Empresa 3 ya que su monto de inversión sería de \$US 945.000. Para el supermercado resulta en lo siguiente:

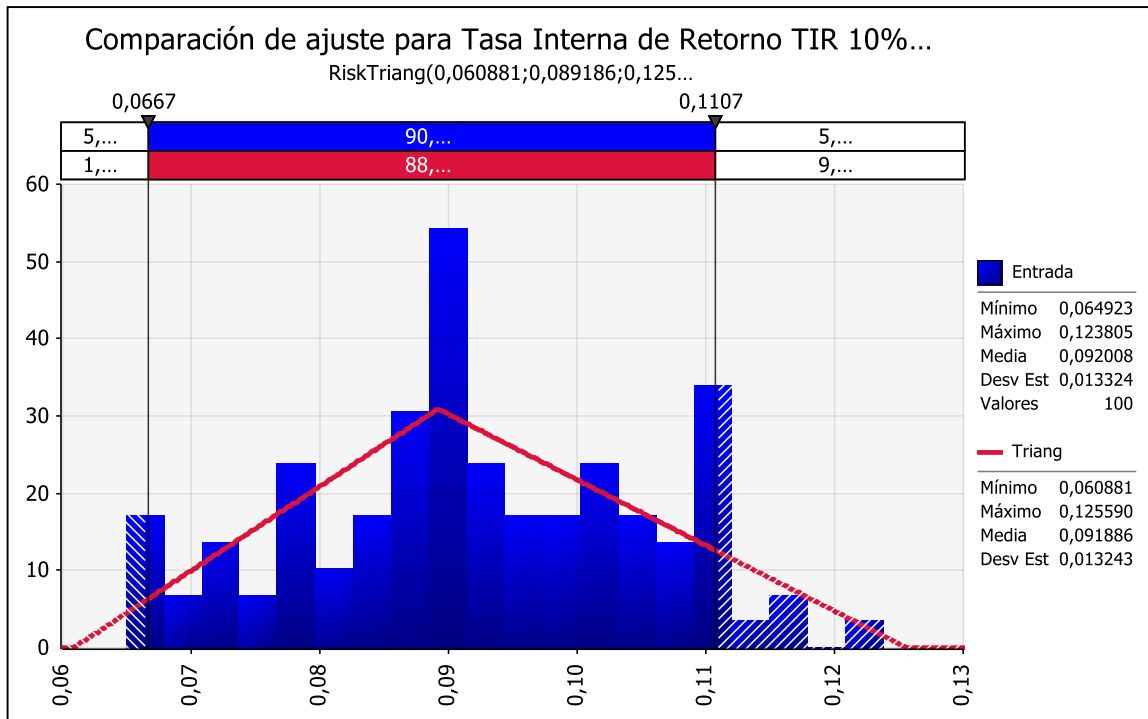


Gráfico 8.17. Densidad de probabilidades TIR del supermercado asumiendo el 10% de inversión de la Empresa 3. Fuente. Elaboración propia.

Y en este caso, la TIR es más atractiva, pero no suficiente en comparación al pool de proyectos de una empresa inmobiliaria del retail. Su valor podría rondar, con un 90% de probabilidad, entre 6,67% y 11,07%. Pero resalta la gran duda respecto a si para la Empresa 3 resulta conveniente.

Respecto a los costos variables O&M de la Empresa 2, si se sensibiliza su índice (0,015 \$US/kWh) hacia valores inferiores se tiene el siguiente gráfico respecto a la TIR.

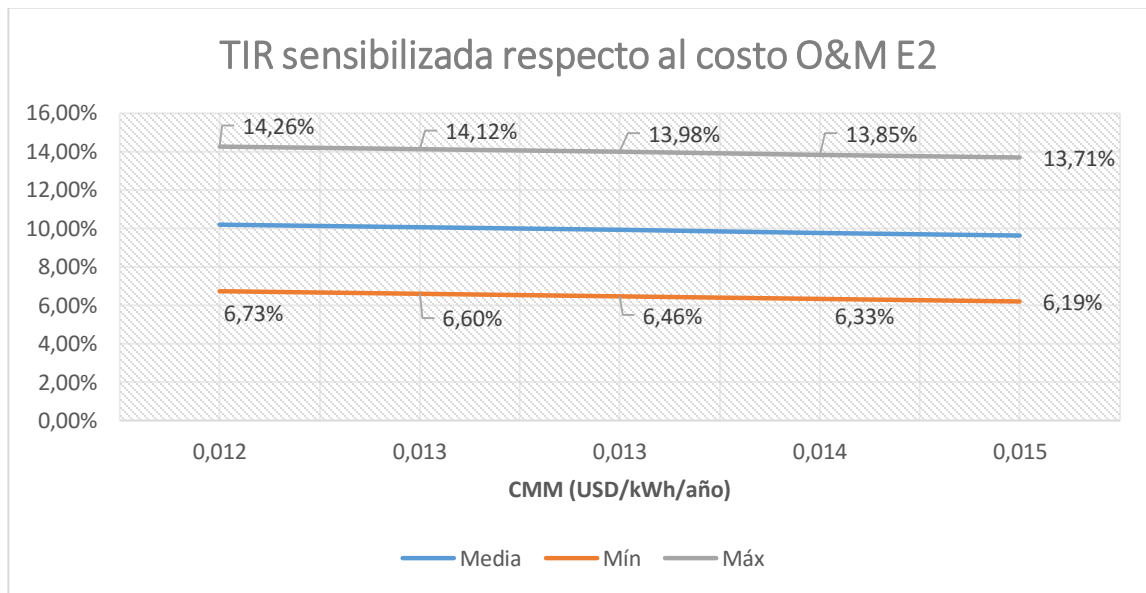


Gráfico 8.18. Movilidad de la TIR al variar el índice de costo de O&M Empresa 2. Fuente. Elaboración propia.

En este aspecto, bajar un 20% el índice por costo variable de O&M de la Empresa 2 no hace variar considerablemente la TIR de la propuesta.

Otra sensibilización importante es el precio de la energía, para ello se simuló pensando en un crecimiento lineal de un 5% anual y, por otro lado, considerando una disminución lineal de un 5% anual.

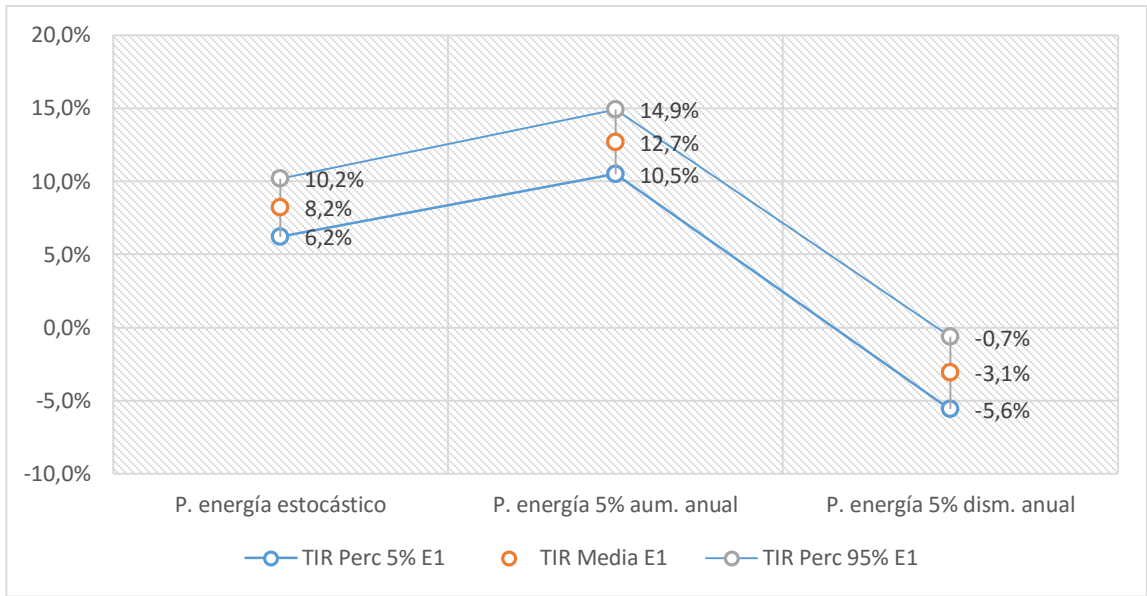


Gráfico 8.19. Comportamiento de la TIR Empresa 1 con distintos modelos de precios de la energía. Fuente. Elaboración propia

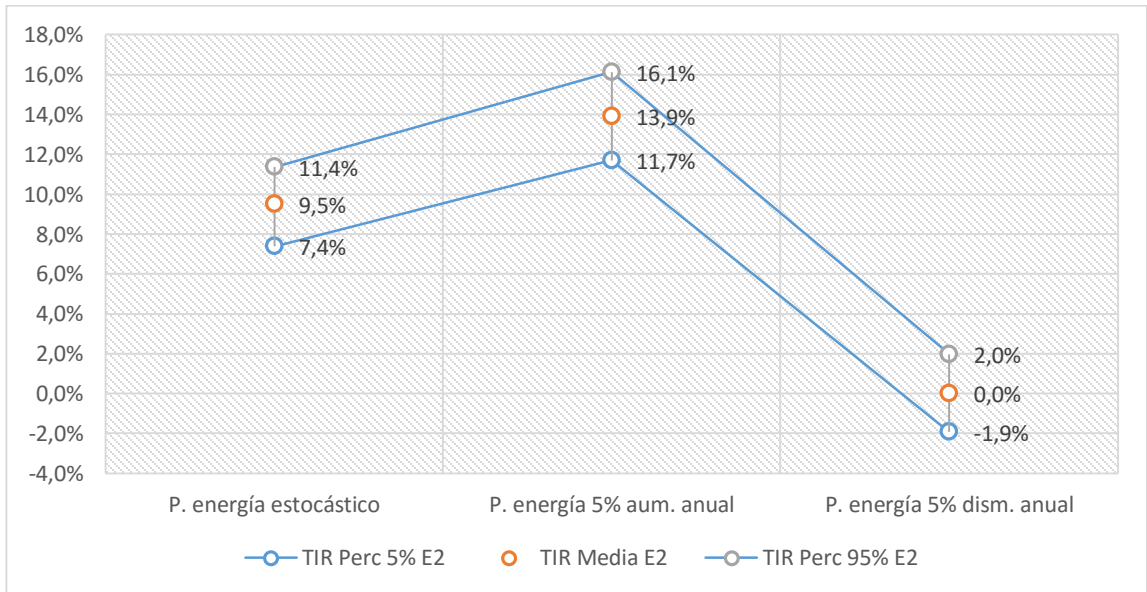


Gráfico 8.20. Comportamiento de la TIR Empresa 2 con distintos modelos de precios de la energía. Fuente. Elaboración propia

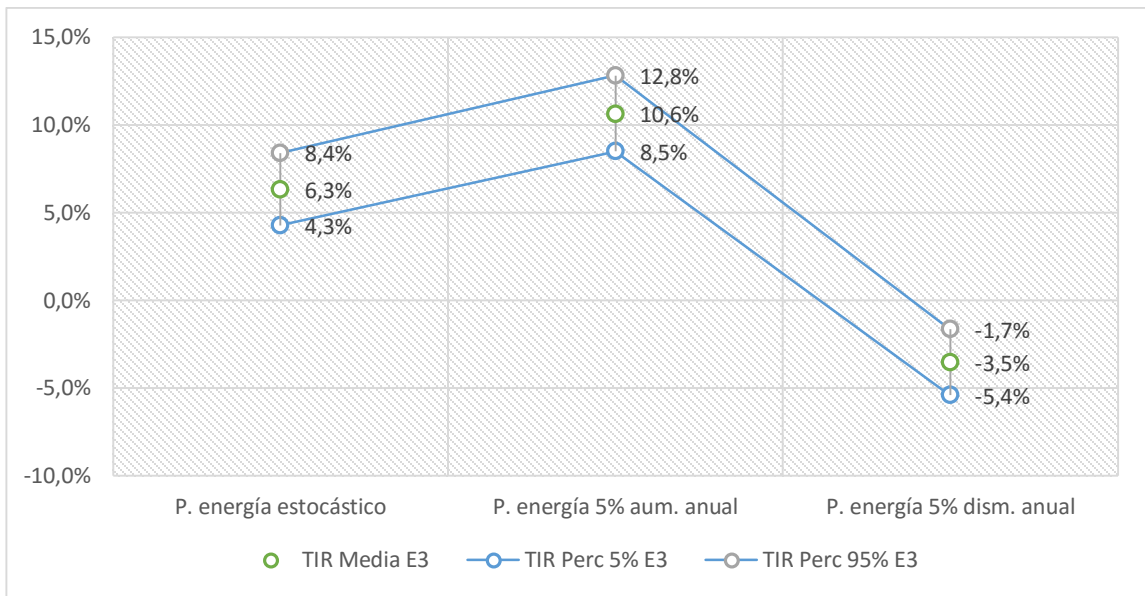


Gráfico 8.21. Comportamiento de la TIR Empresa 3 con distintos modelos de precios de la energía. Fuente. Elaboración propia

De estos gráficos se desprende que un alza constante de un 5% anual de la energía aporta en la rentabilidad del proyecto de manera lógica puesto que aumenta el beneficio de este. No así, una disminución constante de un 5% anual, ya que ante este escenario, los proyectos se ven sumamente afectados. El modelo planteado originalmente demuestra que tiene una tendencia moderada al alza, por lo tanto, será en definitiva el precio de las futuras licitaciones quienes demuestren lo contrario o bien, el precio del dólar y los indexadores.

## 9 CONCLUSIONES

La propuesta de la Empresa 2 tiene un nivel de riesgo menor a no ser rentable, por lo tanto se torna más que las otras empresas, esto debido a su mayor generación de energía (ingresos). Causa de ellos, es la tecnología del panel, ya que éste en particular, al ser del tipo CIS de capa delgada, se comporta mejor en condiciones de altas temperaturas, niveles de radiación solar y un menor deterioro.

Si bien es cierto, todas ofrecen distintos modelos de negocios, la Empresa 3, quien asumía todo el riesgo de la inversión, prefirió no realizar el proyecto por su baja rentabilidad, situación que no puede ser manejada por el supermercado. Esta variable de riesgo que se planteó desde un principio, se vio reflejado al transcurrir el desarrollo de esta tesina. Y resulta evidente, ya que al realizar un análisis financiero, bajo las mismas variables de riesgo que las otras empresas, el proyecto no es rentable debido a alta inversión que implica y al bajo ingreso por la venta de energía. Es importante señalar que el precio de Chilectra a sus clientes regulados son los más bajos del país, debido a la densidad de su zona de concesión y a su economía de escala, por lo tanto, competir con este precio, vendiendo siempre a un 10% menos de este valor, es difícil que el proyecto rentabilice, aún más, con una alta inversión. Se planteó, a modo de sugerencia, un modelo de negocio que tenga las mismas características, pero compartiendo el monto de la inversión, a fin de que el proyecto resulte atractivo para ambas partes. El resultado de la operación, asumiendo un 20%, no es atractivo para el supermercado, incluso existe la posibilidad de que la TIR sea negativa. En el caso de asumir el 10%, resulta más atractivo ya que tiene una TIR mayor, sin embargo, para los niveles de rentabilidad del retail sigue siendo baja. Por lo tanto, se vuelve a afirmar que los niveles de inversión de esta tecnología aún son muy altos para garantizar una rentabilidad.

En las condiciones dadas, el VAN de la Empresa 2 tiene un 34,8% de probabilidades que sea positiva. Sin embargo, bajo los niveles de inversión

mostrados resulta evidente que estos deben bajar para garantizar rentabilidad. El nivel de inversión influye notablemente en la rentabilidad del proyecto. Actualmente el costo es de 1,41 USD/Wp instalado aproximadamente, en comparación a 0,7 – 1 USD/Wp en Europa y en EEUU. Niveles a razón de 1,13 USD/Wp podría rentabilizar el proyecto con un grado de probabilidad mayor.

El precio de la energía y el dólar son factores relevantes en la evaluación, ya que de ellos depende el beneficio del proyecto. Es importante señalar que en las futuras licitaciones, si baja el precio de la energía, el beneficio del proyecto es menor (menores ingresos). El planteamiento realizado indica que en los próximos 10 años se tenga un alza constante en los precios, para después de ese tiempo estabilizarse, ratificándose con los contratos actualmente adjudicados y sus vencimientos futuros.

Respecto al dólar, este presenta una gran volatilidad, siendo tema de gran estudio; su valor futuro incierto y desconocido hace que proyectos, como este, valorizados en esta moneda tenga tal incertidumbre. Esta misma volatilidad afecta finalmente el precio de la energía, ya que el resultado de licitaciones viene expresado en esta moneda.

El proyecto en sí trae beneficios para el supermercado, comprobado en países donde ya se ha implementado. En este aspecto, su implementación obedecería a aspectos más estratégicos sobre las ventas que por la rentabilidad en sí.

El proyecto mitigaría anualmente 538,65 Ton CO<sub>2</sub>, 1,46 Ton NO<sub>x</sub> y 0,99 Ton SO<sub>2</sub> aproximadamente. Si el supermercado, en su política estratégica, decidiera presentarse como una empresa comprometida con el medio ambiente, tal como lo hace Walmart en otros países, tendría mayores facilidades para construir supermercados y posiblemente movería la demanda de esta tecnología, trayendo más oferta al mercado Chileno.

Otros beneficios que presenta el proyecto son ahorros indirectos por el uso de los equipos de clima, ya que los paneles protegen la cubierta creando una aislación de la temperatura, siendo mejor en el día una instalación inclinada.

Finalmente, el riesgo de inversión en estos proyectos no es despreciable, y pudiese ocurrir que no tengan la rentabilidad esperada. Dependerá este riesgo del comportamiento en el precio de la energía, ya que al ser mayor, el beneficio del proyecto también lo es; también del precio del dólar ya que si es bajo al momento de realizar la inversión, mejora efectivamente la rentabilidad; su crecimiento posterior repercute en el precio de la energía.

El riesgo de un VAN negativo en el mejor de los casos es de un 65,2%, queda a decisión del inversionista si asume tal riesgo.

## 10 BIBLIOGRAFÍA

1. PROBLEMAS RESUELTOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS EN INSTALACIONES INDUSTRIALES, Elena Mulet Escrig, Mar Carlos Alberola, Vicente Chulvi Ramos, Juan Ramos Barceló, María Dolores Bobea, Universitat Jaume, 2011. [en línea] <http://www.sarpientia.uji.es>.
2. ANÁLISIS Y CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO, Análisis de Riesgo, Comunidad de Madrid [en línea] <http://www.madrid.org>.
3. ANÁLISIS PROBABILÍSTICO Y SIMULACIÓN. Carlos J. Zapata. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia, 2010. [en línea] [http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaelettrica/lapsee/curso\\_2011\\_zapata\\_3.pdf](http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaelettrica/lapsee/curso_2011_zapata_3.pdf).
4. DEGRADACIÓN DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE SILICIO CRISTALINO TRAS 12 AÑOS DE OPERACIÓN EN ESPAÑA. Mariano Sidrach de Cardona, Paula Sánchez-Friera, Michel Piliougine, Javier Peláez Jesús Carretero. Dpto. de Física Aplicada II. Universidad de Málaga. Málaga, España, 2010 [en línea] [http://perusolar.org/17-spes-taller-2/Sidrach\\_Mariano/Sidrach\\_mariano.pdf](http://perusolar.org/17-spes-taller-2/Sidrach_Mariano/Sidrach_mariano.pdf)
5. HERRAMIENTA PARA CALCULAR EL FACTOR DE EMISIÓN DE UN SISTEMA ELÉCTRICO, PARA EL SISTEMA INTERCONECTADO CENTRAL (SIC) Y EL SISTEMA INTERCONECTADO DEL NORTE GRANDE (SING). Consultora DEUMAN Ltda., Entidad Operacional ICONTEC, Ministerio de Energía de Chile. 2014, [en línea] <http://www.acee.cl/recursos/herramientas-interactivas/factores-de-emisi%C3%B3n-sic-y-sing-para-proyectos-mdl>
6. GUIA SOLAR. CÓMO DISPONER DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA CONECTADA A LA RED ELÉCTRICA. Marc Pintor, José Luis García Ortega. Greenpeace España, 2003. [en línea]

[http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home\\_main\\_frame/11\\_descargas/pdf/Guia\\_Solar\\_Greenpeace\\_2003.pdf](http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/11_descargas/pdf/Guia_Solar_Greenpeace_2003.pdf)

7. MERCADO ELÉCTRICO LICITACIONES DE SUMINISTRO MERCADO REGULADO Y ABASTECIMIENTO DEL SIC. Germán Sanhueza C., Chilectra, 2012 [en línea]. <http://www.chilectra.cl>
8. LA REGULACIÓN DEL SEGMENTO DISTRIBUCIÓN EN CHILE. Documento de trabajo. Comisión Nacional de Energía, 2006. [en línea] <http://www.cne.cl>.
9. INFORMES PRECIO DE NUDO LARGO PLAZO. CNE. [en línea] <http://www.cne.cl>.
10. PRECIOS DE LICITACIÓN EN EL SIC. Reporte Mensual del Sector Eléctrico, Marzo 2015, [en línea], [www.systep.cl/](http://www.systep.cl/)
11. EVALUACIÓN DEL RECURSO SOLAR. Ministerio de Energía. Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, marzo 2015, [en línea], <http://ernc.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar2/>
12. EFFECTS OF SOLAR PHOTOVOLTAIC PANELS ON ROOF HEAT TRANSFER. A. Dominguez, J. Kleissl, & M. Samady, Univ of California, San Diego J. C. Luvall, NASA, Marshall Space Flight Center, 2010, [en línea], <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20100035690.pdf>.
13. ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY. [en línea], <http://corporate.walmart.com/global-responsibility/environment-sustainability/energy>.

14. WALMART SOLAR PROJECT. SolarCity Finance Company, [en línea], <http://www.solarcity.com/commercial/commercial-solar-projects/walmart>
15. SOLAR MEANS BUSINESS 2014 TOP U.S. COMMERCIAL SOLAR USERS. Solar Energy Industries Association, SEIA, 2014, [en línea], <http://www.seia.org/sites/default/files/resources/Zw0o140MrWSMB2014.pdf>.
16. DOLAR OBSERVADO HISTÓRICO. Servicio de Impuestos Interno, [en línea], <http://www.sii.cl/pagina/valores/dolar/dolar2015.htm>
17. SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF GLOBAL SURFACE SOLAR IRRADIANCE, J. Geophys. International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP).