

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY



**CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO DE INVERSIÓN EN UN
PROYECTO DE COGENERACIÓN MEDIANTE EL USO DEL
VALOR EN RIESGO (VaR).**

TESIS QUE PARA OPTAR EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
PRESENTA

FRANCISCO HERNÁNDEZ VILLANUEVA

Asesor: Dr. JAIME MORA VARGAS

Co - Asesor: Dr. CÉSAR MARTÍNEZ OLVERA

Comité de tesis: Dr. IVÁN ROA GONZÁLEZ
Dr. CÉSAR MARTÍNEZ OLVERA
Dr. JAIME MORA VARGAS

Jurado:	Dr. IVÁN ROA GONZÁLEZ	Presidente
	Dr. CÉSAR MARTÍNEZ OLVERA	Secretario
	Dr. JAIME MORA VARGAS	Vocal

Atizapán de Zaragoza, Edo. Méx., Agosto de 2007.

Resumen

El presente trabajo trata sobre el análisis de riesgo bajo un ambiente de incertidumbre, utilizando como herramienta de análisis y cuantificación de este riesgo el Valor en Riesgo (VaR) en proyectos de cogeneración. Tomando como variables de riesgo a cuantificarse el precio del gas natural, precio de la tarifa eléctrica, tasa de interés y tipo de cambio, considerando lo publicado mensualmente por las correspondientes instancias que regulan estas variables desde el año 2000 hasta el 2005. Los resultados obtenidos muestran la factibilidad de usar esta herramienta en la cuantificación del riesgo, que la metodología es válida para proyectos industriales y no solo usado en el mercado de valores como generalmente se utiliza. Además muestra el valor del riesgo máximo de pérdida económica en la inversión de estos proyectos, dando la oportunidad al industrial o al inversionista tener un valor que le permita tener un mayor conocimiento del riesgo que implica invertir en estos proyectos, con la finalidad de que tenga información suficiente para la toma de decisión.

ÍNDICE.

Resumen.....	2
Índice.....	3
Tabla de Figuras.....	4
Capítulo 1.....	6
1.1 Antecedentes.....	6
1.1.1 Situación Energética En México.....	6
1.1.2 Administración Riesgos.....	10
1.2 Planteamiento detallado del problema.....	12
1.2.1 Definición del Problema.....	12
1.2.2 Justificación.....	13
1.2.3 Alcance de la Investigación.....	14
1.3 Objetivos.....	15
1.4 Hipótesis del Trabajo.....	16
1.5 ¿Qué tan riesgoso es invertir en un proyecto de Cogeneración?.....	16
1.6 Aporte del Documento de Investigación.....	16
1.7 Estructura del documento de investigación.....	16
Capítulo 2. Estado del Arte.....	17
2.1. Cogeneración.....	17
2.1.1. Definición.....	17
2.1.2. Situación Energética en México.....	17
2.1.3. Incertidumbre en proyectos de Cogeneración.....	19
2.2. Riesgo en Administración de Proyectos.....	19
2.3. Valor en Riesgo (VaR).....	20
2.3.1. VaR en Mercado de Energéticos.....	21
2.3.2. Uso de redes neuronales y VaR.....	22
2.4. Mapa Mental.....	23
Capítulo 3. Metodología y Resultados.....	24
3.1. Definiciones Matemáticas Previas a la metodología de la obtención del VaR.....	24
3.1.1. Estadística.....	24
3.1.2. Álgebra Lineal.....	28
3.2. Metodología para la obtención del VaR.....	30
3.2.1. Selección de las Variables a Estudiar.....	30
3.2.2. Obtención de Información estadística de las Variables y Factor de Correlación entre ellas.....	33
3.2.3. Valor de Confianza y Matriz de Desviación Estándar.....	34
3.2.4. Matriz de Covarianza.....	35

3.2.5. Matriz Producto de la M. Covarianza y M. de Correlaciones.....	35
3.2.6. Vector de Peso y Siulación Montecarlo.....	36
3.2.7. Obtención del VaR.....	37
3.2.7.1.Obtención del VaR Maximizado.....	38
3.2.8. Resumen Metodología.....	39
Capítulo 4. Conclusiones y recomendaciones.....	40
4.1. Observaciones y Conclusiones.....	40
4.2. Recomendaciones y trabajo futuro.....	41
Referencias.....	43
Anexos.....	46
Anexo 1. Respuesta de expertos en la materia sobre las variables estudiadas en el trabajo de investigación.....	46
Anexo 2. Datos de las variables a estudiar capturadas mes a mes de enero del 2000 a Diciembre del 2005.....	50
Anexo 3. Resultado de las simulaciones de peso hechas en Excel.....	53

TABLA DE FIGURAS.

Gráfica 1.1 Precios de energía en México del 2003 a septiembre de 2005. Fuente: pemex y cfe...7	7
Gráfica 1.2. Calidad en el suministro de energía eléctrica (variaciones reportadas en voltaje y suspensión deservicios) que por parte de cfe suministra a una industria en el norte de la ciudad de México. Fuente: empresa privada.....	8
Figura 1.1 Comparación de la generación de energía eléctrica y térmica con sistemas separados y con sistemas de cogeneración. Fuente: CONAE.....	9
Tabla 2.1.2 Posición mundial de pemex y cfe.....	18
Figura 2.1 Mapa mental del estado del arte en análisis de riesgo económico en un proyecto de cogeneración.....	23
Tabla 3.2.2 Valores estadísticos de datos históricos del 2000 al 2006 de las variables seleccionadas.....	34
Tabla 3.2.3 Matriz de desviación estándar.....	34
Tabla 3.2.4 Matriz de covarianza.....	35
Tabla 3.2.5 Matriz producto de la m. De covarianza y la m. De correlaciones.....	35
Tabla 3.2.5b Matriz de varianza.....	35
Tabla 3.2.6 Vector de peso (1x4).....	37
Tabla 3.2.6b Vector de peso (4x1).....	37
Tabla 3.2.7 Vector producto de la multiplicación de la matriz varianza por el vector de peso 1 x 4.	37
Tabla 3.2.7.1 Vector de peso (1x4).....	38
Tabla 3.2.7.1b Vector de peso (4x1).....	38

3.2.5. Matriz Producto de la M. Covarianza y M. de Correlaciones.....	35
3.2.6. Vector de Peso y Siulación Montecarlo.....	36
3.2.7. Obtención del VaR.....	37
3.2.7.1.Obtención del VaR Maximizado.....	38
3.2.8. Resumen Metodología.....	39
Capítulo 4. Conclusiones y recomendaciones.....	40
4.1. Observaciones y Conclusiones.....	40
4.2. Recomendaciones y trabajo futuro.....	41
Referencias.....	43
Anexos.....	46
Anexo 1. Respuesta de expertos en la materia sobre las variables estudiadas en el trabajo de investigación.....	46
Anexo 2. Datos de las variables a estudiar capturadas mes a mes de enero del 2000 a Diciembre del 2005.....	50
Anexo 3. Resultado de las simulaciones de peso hechas en Excel.....	53

TABLA DE FIGURAS.

Gráfica 1.1 Precios de energía en México del 2003 a septiembre de 2005. Fuente: pemex y cfe...7	7
Gráfica 1.2. Calidad en el suministro de energía eléctrica (variaciones reportadas en voltaje y suspensión deservicios) que por parte de cfe suministra a una industria en el norte de la ciudad de México. Fuente: empresa privada.....	8
Figura 1.1 Comparación de la generación de energía eléctrica y térmica con sistemas separados y con sistemas de cogeneración. Fuente: CONAE.....	9
Tabla 2.1.2 Posición mundial de pemex y cfe.....	18
Figura 2.1 Mapa mental del estado del arte en análisis de riesgo económico en un proyecto de cogeneración.....	23
Tabla 3.2.2 Valores estadísticos de datos históricos del 2000 al 2006 de las variables seleccionadas.....	34
Tabla 3.2.3 Matriz de desviación estándar.....	34
Tabla 3.2.4 Matriz de covarianza.....	35
Tabla 3.2.5 Matriz producto de la m. De covarianza y la m. De correlaciones.....	35
Tabla 3.2.5b Matriz de varianza.....	35
Tabla 3.2.6 Vector de peso (1x4).....	37
Tabla 3.2.6b Vector de peso (4x1).....	37
Tabla 3.2.7 Vector producto de la multiplicación de la matriz varianza por el vector de peso 1 x 4.	37
Tabla 3.2.7.1 Vector de peso (1x4).....	38
Tabla 3.2.7.1b Vector de peso (4x1).....	38

Tabla 3.2.7.1c Vector producto de la multiplicación de la matriz varianza por el vector de peso 1 x 4.....	38
Figura 3.1.8 Diagrama de flujo de la obtención del var.....	39

CAPITULO 1.

Este capítulo establece las bases sobre las cuales este documento esta cimentado, es decir, da un panorama de la situación energética en México, el porque existen pocas industrias en el país que instalan equipos de cogeneración teniendo esta producción de energía beneficios económicos considerables. El capítulo habla acerca del análisis de riesgo, su importancia en la administración de proyectos, establece el planteamiento del problema a analizar, los objetivos del documento que se publica así como la estructura de éste.

1.1 ANTECEDENTES.

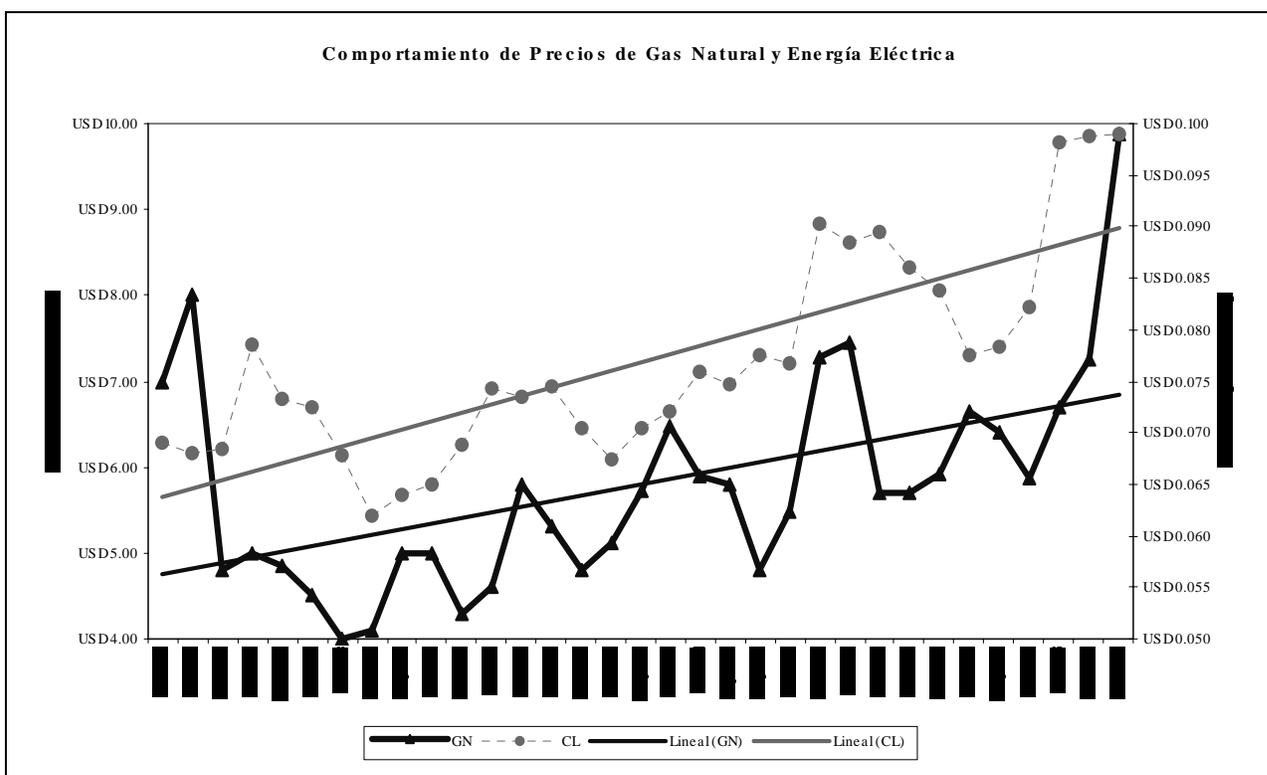
1.1.1 SITUACIÓN ENERGÉTICA EN MÉXICO.

Para los industriales, la producción a bajos costos es indispensable para mantenerse competitivos en un mercado internacional. Esta producción de bajos costos incluye no solo la mano de obra directa e indirecta y las materias primas para la producción de algún bien, sino también los servicios auxiliares que estos llevan entre los que se encuentran los combustibles y la electricidad.[1]

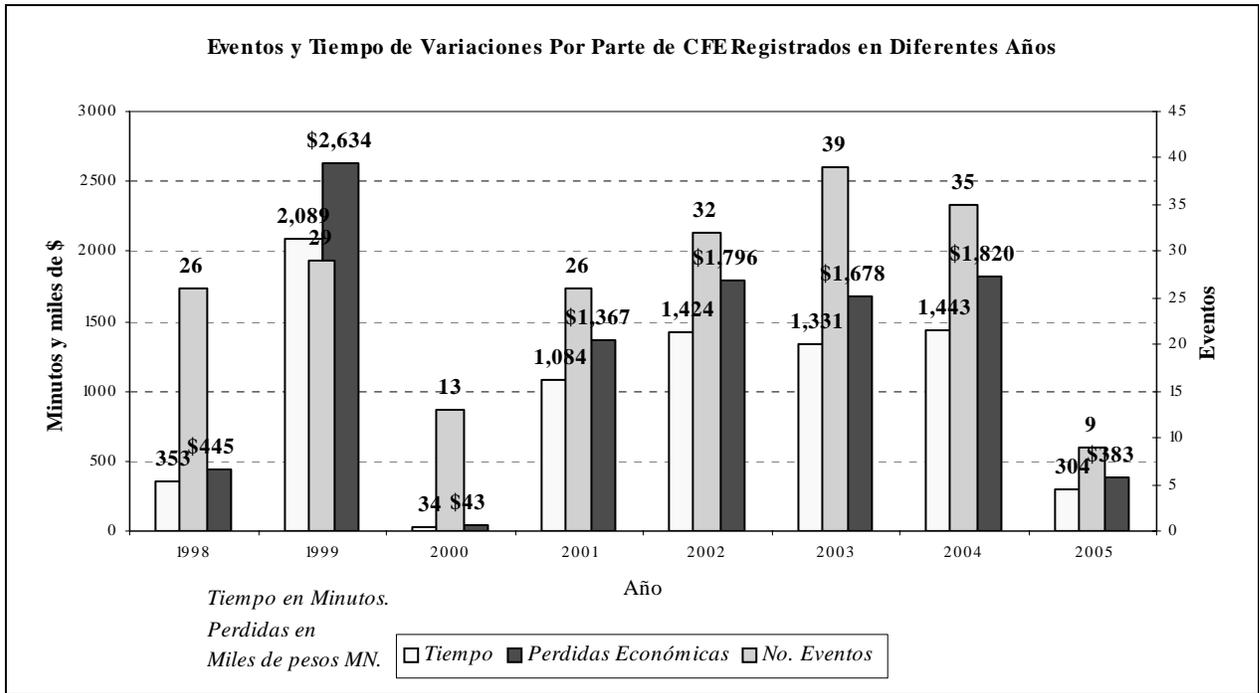
Hace 20 años, no se analizaba de manera detallada el precio de estos dos rubros que generalmente eran adquiridos por alguna compañía suministradora gubernamental, como Petróleos Mexicanos (PEMEX) en el caso del combustible y Comisión Federal de Electricidad (CFE) en el caso de la electricidad, pues el impacto que se tenía de estos insumos no era significativamente grande comparado con el de la materia prima, mano de obra, gastos administrativos y otros que no involucran a los energéticos. Sin embargo, hoy en día el precio de estos insumos representa un porcentaje importante en el costo de los productos. Tomando como ejemplo los costos de una planta petroquímica (procesa productos derivados del petróleo o subproductos de la refinación o extracción del petróleo, su consumo de energía para obtener estos productos es alto en comparación con otro tipo de industrias manufactureras) a principios de los 70's los costos de operación por concepto de energía – electricidad y combustibles – para la transformación de la materia prima a producto final representaba el 18%, en tanto que para la década de los 80's este porcentaje llegó a ser del 58%. [2]

Particularmente en los últimos 5 años tanto el precio como la disponibilidad de los energéticos ha sido tema principal entre los industriales (Ver Anexo 1), ya que no solo se ha ido incrementando su precio, sino que su calidad en el suministro ha ido disminuyendo, entendiéndose por calidad o eventos por parte de CFE como variaciones en el voltaje, frecuencia e interrupciones breves (parpadeos) o prolongadas (cortes) en el suministro de la energía eléctrica.

En las siguientes gráficas, la primera muestra datos de precios de gas natural registrados por parte de PEMEX y de CFE en precio de energía eléctrica. La segunda se refiere a las variaciones en voltaje o suspensión en el suministro eléctrico que por CFE se registraron en una industria ubicada en el norte de la Ciudad de México, esta industria representa la situación general en cuanto a precio de energía se refiere y eventos en el suministro eléctrico se refiere, en el norte de la Ciudad de México.



GRÁFICA 1.1 PRECIOS DE ENERGÍA EN MÉXICO DEL 2003 A SEPTIEMBRE DE 2005.
FUENTE: PEMEX Y CFE.



GRÁFICA 1.2. CALIDAD EN EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA (VARIACIONES REPORTADAS EN VOLTAJE Y SUSPENSIÓN DESERVICIOS) QUE POR PARTE DE CFE SUMINISTRA A UNA INDUSTRIA EN EL NORTE DE LA CIUDAD DE MÉXICO. FUENTE: EMPRESA PRIVADA.

Considerando que una industria en la zona norte del Ciudad de México tiene utilidades por la venta de su producto diarias en promedio de \$2,880,000 MN, significa que por cada minuto de interrupción se tiene un pérdida económica de \$2,000 MN/minuto que deja de producir mercancía vendida, esta cifra es conservadora ya que no se cuantifica pérdidas por cortos en tarjetas electrónicas, equipos y motores de la empresa, o bien, el tiempo que toma volver a restablecer equipos después de un corte.

Por lo anterior, el precio de la energía se ha convertido en una parte importante del costo total de los productos en la industria manufacturera. Alternativas para generar energía como la auto – generación de electricidad (generación eléctrica propia independiente de la red de suministro para un industrial particular) o la cogeneración (producción de energía eléctrica conjuntamente con vapor u otro tipo de energía térmica secundaria, o ambas[3]) en los sitios de producción o fábricas puede ofrecer un servicio no interrumpido de energía (mayor disponibilidad) y de menor costo que el que se ofrece por parte de los proveedores como PEMEX y CFE.

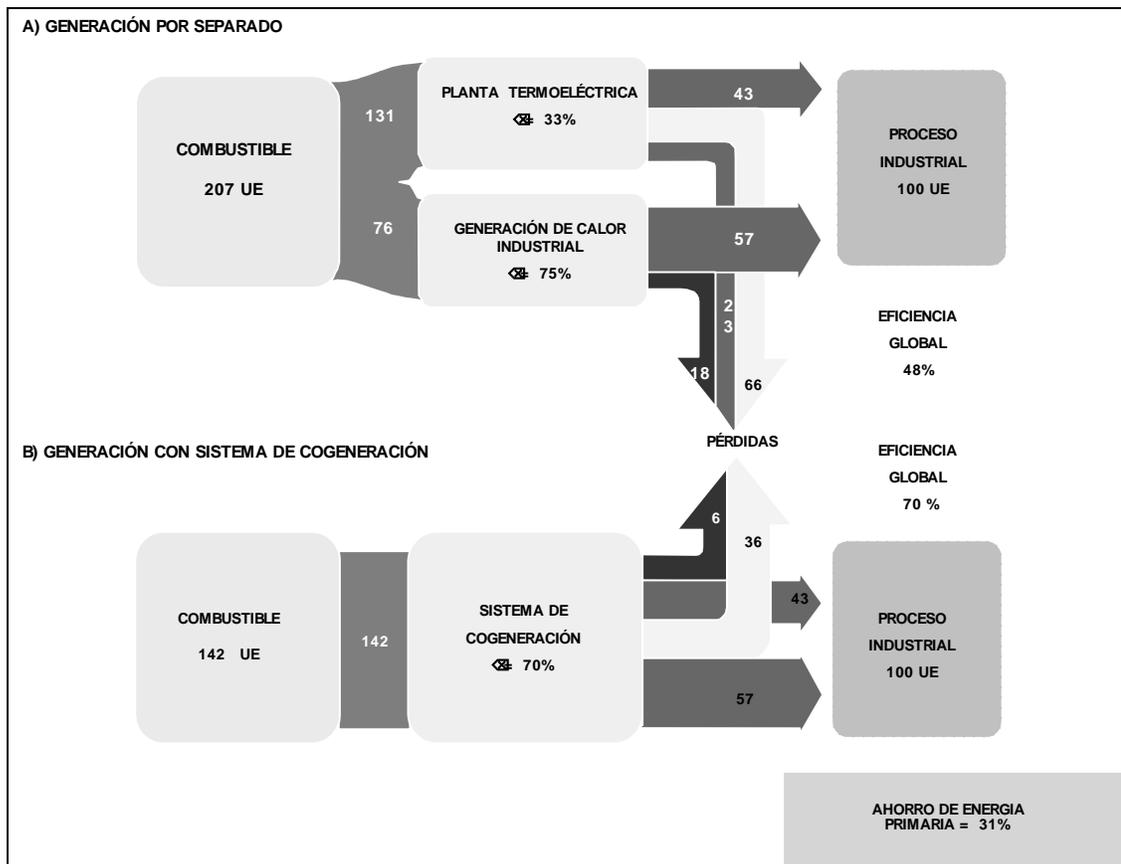


FIGURA 1.1 COMPARACIÓN DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y TÉRMICA CON SISTEMAS SEPARADOS Y CON SISTEMAS DE COGENERACIÓN. FUENTE: CONAE

De acuerdo con la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) – empresa mexicana descentralizada dedicada a estudiar, desarrollar y promover el ahorro de energía entre los industriales nacionales – México tiene una capacidad instalada de generación de 44,000 megawatts eléctricos, de los cuales 1,427 se producen a partir de sistemas de cogeneración, lo que representa 3% de la capacidad instalada generada por cogeneración. En México se pueden instalar sistemas de cogeneración, de acuerdo a sus características de consumo energético, en 1,700 empresas que representa un incremento total de 12,000 megawatts.[4] Además, esta modalidad de generar la energía necesaria para los procesos presenta las siguientes ventajas:

- ⇒ Reducción de costos de producción. Al tener energía de menor precio para los procesos productivos, reduce el costo de producción, dando un mayor margen de utilidad.
- ⇒ Reducción de factura eléctrica. Prácticamente se deja de pagar factura eléctrica y solo se paga por energía de respaldo en caso de fallar el sistema de generación propio.
- ⇒ Aumento de confiabilidad de la energía requerida. Se tiene mayor control sobre la calidad de la energía en cuanto a variaciones de voltaje y frecuencia, haciendo más confiable a la energía eléctrica necesaria en la planta productiva.
- ⇒ Disminución de interrupciones y del tiempo de duración de las mismas. Se evitan los cortes eléctricos inesperados, y se conoce el tiempo de paro y las veces que los equipos deben entrar a mantenimiento (disponibilidad).

- ⇒ Reducción de dependencia de CFE. Depende únicamente por disponibilidad, es decir, para respaldo de energía cuando el equipo de generación este fuera por mantenimiento.
- ⇒ Reducción de emisiones contaminantes. Considerando la emisión de contaminantes de la planta de generación independiente por parte de la red y los contaminantes emitidos en la producción de energía térmica (vapor, agua caliente, calentamiento de aceite térmico, etcétera), con la cogeneración de acuerdo al diagrama arriba mostrado, el uso de combustible es menor y en consecuencia su emisión de contaminantes al medio ambiente también se reduce.

La principal razón del porque no se han realizado estos proyectos teniendo tantas ventajas, se debe en gran manera a la incertidumbre que se tiene en cuanto a la variación e incremento de precios de combustibles (gas natural principalmente) y los precios de energía eléctrica que actualmente se tienen por parte de CFE, que son bajos por mantener un subsidio por parte del gobierno, aunque la calidad en el suministro también es baja. Adicionalmente, por ser proyectos de inversión considerable a un industrial y de equipos de importación, se tiene la incertidumbre de la variación de las tasas de interés en el período de duración o financiamiento del proyecto, así como la variación en la paridad o tipo de cambio del peso frente al dólar.

Por lo que este tipo de proyectos, son muy susceptibles a cambios en su rentabilidad o los beneficios económicos que presenta y es muy importante hacer énfasis en el análisis de riesgo económico del mismo.

1.1.2 ADMINISTRACIÓN RIESGOS.

De acuerdo al PMI en su documento “*Project Management Book Of Knowledge*” (PMBOK), un proyecto se define como – *un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único* –. Además, define a la administración de proyectos como – *la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades de un proyecto para satisfacer los requisitos del mismo* –. Lográndose mediante la aplicación e integración de los procesos de gestión de proyectos de inicio, planificación, ejecución, seguimiento y control y cierre de estos.[5]

De acuerdo al PMBOK – *la administración de riesgos en proyectos busca como objetivo aumentar la probabilidad y el impacto de eventos positivos y disminuir la probabilidad y el impacto de eventos negativos* –. Existen 6 áreas principales en la gestión del riesgo que son:

- 1) Planeación en la administración del riesgo. Decide como enfocar, planear y ejecutar las actividades para la administración del riesgo.
- 2) Identificación del Riesgo. Determina cuales riesgos pueden afectar al proyecto y documenta sus características.
- 3) Análisis cualitativo del riesgo. Establece prioridades de riesgos para subsecuentes análisis posteriores o acciones evaluando y combinando su probabilidad de ocurrencia e impacto.
- 4) Análisis cuantitativo del riesgo. Analiza numéricamente los efectos sobre el objetivo global del proyecto de riesgos identificados.

- 5) Planeación de la respuesta a los riesgos. Desarrolla opciones y acciones para mejorar las oportunidades y reducir las amenazas a los objetivos del proyecto.
- 6) Control y Seguimiento del Riesgo. Realiza el seguimiento de los riesgos identificados, supervisa los riesgos residuales, identifica nuevos riesgos, ejecuta planes de respuesta a los riesgos y evalúa su efectividad a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

El riesgo en un proyecto de acuerdo al PMBOK *es un evento o condición que, si ocurre, tiene un efecto positivo o negativo en al menos un objetivo del proyecto, tal como tiempo, costo, alcance o calidad*. Un riesgo puede tener una o más causas y si ocurre uno o más impactos.

1.1.2.1 Análisis cuantitativo del riesgo.

De las áreas de administración de riesgo mostradas en la sección anterior, se enfocará este trabajo en el análisis cuantitativo del riesgo. Su justificación se explica más adelante en la sección del planteamiento detallado del problema.

El proceso del análisis cuantitativo del riesgo usa técnicas como simulación Monte Carlo y análisis de árboles de decisión para:

- ⇒ Cuantificar los posibles resultados de los proyectos y sus resultados.
- ⇒ Evaluar la probabilidad de alcanzar objetivos específicos del proyecto.
- ⇒ Identificar riesgos que demandan la mayor atención cuantificando su contribución relativa al riesgo global del proyecto.
- ⇒ Identificar los costos realistas y alcanzables, en programas, u objetivos específicos, dado el riesgo del proyecto.
- ⇒ Determinar la mejor decisión en la administración del proyecto cuando algunos resultados o condiciones son inciertos.

El análisis cuantitativo debe repetirse después de realizar el plan de respuesta del riesgo, también debe estar presente como parte del monitoreo y control, con la finalidad de determinar si el riesgo global del proyecto se ha reducido de manera satisfactoria.

Dentro de las herramientas y técnicas en el análisis cuantitativo del riesgo se encuentra la entrevista, la distribución de probabilidad y el juicio de los expertos.

Dentro de las herramientas de modelado se tiene el análisis de sensibilidad, el análisis del valor monetario esperado, los análisis de árboles de decisión y el modelado y simulación.

En este trabajo se realizará el modelo y la simulación para cuantificar el impacto en el riesgo económico o financiero de los proyectos de cogeneración.

Las estrategias que se recomiendan por el PMBOK® para manejar el riesgo son:

Evitar. Evitar el riesgo implica cambiar el plan de la administración del proyecto para eliminar la amenaza que representa un riesgo adverso, aislar los objetivos del proyecto del impacto del riesgo, o relajar los objetivos que están en peligro, tales como extender el programa o reducir el alcance. Algunos riesgos que comienzan a presentarse en el proyecto pueden evitarse clarificando los requerimientos, obteniendo información, mejorando la comunicación o adquiriendo experiencia.

Transferir. Transferir el riesgo implica trasladar el impacto negativo de una amenaza, junto con la propia respuesta al riesgo, a una tercera persona. Transferir el riesgo solo da a otra parte la responsabilidad para su administración, no lo elimina. Transferir la responsabilidad del riesgo es más efectivo cuando se trata de exposición a riesgos financieros. Transferir el riesgo casi siempre supone el pago de una prima a la parte que toma el riesgo. Las herramientas de transferencia pueden ser diversas e incluyen, pero no limitan, el uso de seguros, garantías de cumplimiento, cauciones, certificados de garantía, etc.

Mitigar. La mitigación del riesgo implica una reducción en la probabilidad de un evento de riesgo adverso a un nivel aceptable. Adoptar acciones tempranas que reduzcan la probabilidad o el impacto de ocurrencia del riesgo sobre el proyecto, con frecuencia esto es más efectivo que tratar de reparar el daño una vez que ha ocurrido el riesgo.

1.2 PLANTEAMIENTO DETALLADO DEL PROBLEMA.

1.2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

Este trabajo se define como la toma de decisión bajo un ambiente de incertidumbre, considerando el riesgo de hacer inversiones para proyectos de cogeneración.

Para tomar una decisión se debió previamente haber identificado el riesgo y su incertidumbre asociada, por lo que este trabajo se limita a la parte cuantitativa del riesgo financiero, buscando mitigarlo.

Se plantea estudiar la inversión de instalar una planta de cogeneración, definido anteriormente, en una industria típica (comportamiento de consumos y gastos por energía en el promedio de este tipo de industrias) procesadora de plástico que actualmente compra energía eléctrica de la red (CFE) y consume gas natural para la generación de vapor necesario para su proceso productivo, este gas lo compra de PEMEX, por lo que tiene un nivel de gastos por facturación de estos dos servicios, al migrar a un sistema de generación de energía propio (cogeneración), dejaría de pagar la energía eléctrica a CFE, solo pagaría el consumo de este servicio como respaldo cuando el sistema de generación este fuera por mantenimiento, e incrementaría su facturación en gas natural.

Como es un proyecto de inversión en una planta de cogeneración, las variables a analizar serán:

- A. Precio del gas, este tiene una volatilidad muy alta y se mueve en un rango de precio desde 2 hasta 12 dólares por millón de BTU (BTU: Unidad inglesa de medida de la energía, “*British Thermal Unit*,” y muy comúnmente usada en el medio de la generación de energía y venta de gas natural), su variabilidad depende de factores políticos y climáticos.
- B. Precio de la energía eléctrica CFE. Aunque tiene una clara tendencia a la alza, su precio depende en un 30% de la volatilidad del precio de los combustibles y en un 70% de la inflación, ambos factores son cambiantes y podría presentarse un fenómeno de reducción en la tarifa, este pago en facturación, al instalar una planta de cogeneración, representa el ahorro alcanzado en el mismo e influye en la rentabilidad del proyecto, de tal forma que mientras más alto sea la tarifa, mayor la rentabilidad del proyecto.
- C. Cantidad y duración de eventos de disturbios en la red de CFE. Cada evento que se tiene en una planta que compra energía eléctrica a la red de distribución de CFE, impacta directamente en la utilidad de la misma, ya que un evento (definido anteriormente como variación de voltaje, interrupción del suministro, variación en frecuencia, etc.) detiene a la producción. Un evento se da por diversos factores no predecibles, que son situaciones ambientales como lluvias o vientos que desprendan cables de transmisión, algún problema en alguna planta de generación por parte de CFE, algún problema laboral por parte de la misma CFE, etc. De tal manera que no tiene un comportamiento conocido o constante. Si la planta industrial tiene muchos eventos, esos disturbios llevan un costo asociado que se considerará como la cantidad de producto no obtenido por causa del evento y por consecuencia que no se pudo vender, esto empuja el desarrollo de estos proyectos.
- D. Tipo de Cambio. Como es un proyecto en el que los equipos principales son de fabricación no nacional, las propuestas se hacen en dólares, por lo que el cambio en esta paridad peso – dólar puede afectar al proyecto.
- E. Tasa de interés. Como estos proyectos se hacen con empresas no nacionales, establecen, dependiendo del estado de resultados financiero de la industria en particular, un tasa de interés que generalmente es LIBOR (LIBOR: “*London InterBank Offered Rate*”) más unos cuantos puntos porcentuales (estos van de 3 a 5 puntos porcentuales generalmente) sin embargo, este valor una vez pactado no varía, lo que tiene variación es la tasa LIBOR.

1.2.2 JUSTIFICACIÓN.

Este trabajo se justifica porque pretende dar una mayor visión al industrial para la toma de decisión bajo incertidumbre en proyectos de cogeneración, es decir, conociendo la estadística de los cortes o interrupciones por parte de la compañía suministradora de la electricidad, el estadísticos de precios tanto de combustible como de electricidad, se tendrá una valoración del porcentaje de probabilidad de que este proyecto sea rentable o no. Además de que incluye el riesgo de la paridad dólar – peso mexicano, y la variación de las tasas de interés, que son factores que típicamente se analizan en proyectos de inversión.

Por otro lado, el precio del gas natural es muy fluctuante en el tiempo y su comportamiento es poco predecible por su alta volatilidad (en su precio) en el mercado. Por lo que instalar una planta de cogeneración implica:

Ventajas	Desventajas
<ol style="list-style-type: none"> 1. Reducir las pérdidas de producción por causa de los cortes en la red eléctrica. 2. Garantizar la continuidad de la operación de la planta, ya que estos eventos en la red eléctrica se han incrementado año con año. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hacer una inversión considerable en la empresa, que no se puede reflejar en el precio de venta del producto, por lo que su recuperación se debe a los posibles ahorros que se adquieran. 2. Proyecto de inversión a largo plazo, no menos de 15 años.

Se cuenta con la estadística de eventos por parte de CFE en los últimos tres años y sus precios así como con la estadística de precios de gas en el mismo período y las estadísticas de la variación en la paridad peso – dólar, y el comportamiento de la tasa LIBOR.

1.2.3 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.

El riesgo que se tiene al hacer esta inversión es que en vez de ahorros por facturación y producción constante, se tengan pérdidas de tal manera que los costos de producción se incrementen por servicios y gastos financieros y no se recupere la inversión pudiendo llevar a la quiebra a la compañía. Esto se debe a la incertidumbre asociada en la volatilidad del precio de gas pudiendo llegar a niveles de más de 10 USD/MMBTU, los eventos por parte de CFE se reduzcan a niveles de prácticamente cero minutos de disturbios y su precio de venta se mantenga. Además de que la industria reciba ingresos en pesos mexicanos y tenga esta deuda en dólares, por lo que una devaluación del peso frente al dólar podría hacer que la deuda se le incremente de manera considerable y por último, el hecho de tener pagos periódicos, implica que el interés será tomado al período del pago, por lo que si este valor se eleva, nuevamente la deuda también.

Aunque no está en el alcance de este documento, si es una propuesta para futuros trabajos sobre este tema el cuantificar el riesgo financiero mediante Redes Neuronales Artificiales para pronosticar el precio de gas, eventos de CFE, precio de la electricidad por parte de CFE, la tasa de interés esperada y la paridad del peso frente al dólar y con ello determinar en un período de 5, 10 y 15 años de duración del proyecto su rentabilidad, a través del “*Value At Risk*” (VaR), este se determinará mediante información estadística y simulación Monte Carlo.

Para lo cual es importante establecer las definiciones aplicables a esta investigación.

Riesgo. Se define como la variación de diferentes resultados que potencialmente se pueden dar, a esta variación se le puede asignar una probabilidad asociada. En términos estadísticos se conoce la distribución de la variable, pero no el valor exacto que se obtendrá de dicha distribución.

Incertidumbre. Es la falta de conocimiento concerniente a la distribución de la variable.[6]

En general la palabra ‘incertidumbre’ significa que un número de valores diferentes pueden existir para una determinada cantidad, y el riesgo significa la posibilidad de pérdida o ganancia como resultado de la incertidumbre.[7]

Value At Risk (VaR). El valor en Riesgo (VaR) se define como la máxima pérdida potencial de un portafolio de instrumentos financieros con una probabilidad dada sobre un cierto horizonte de tiempo. En palabras más simples, es un número que indica cuanto puede una institución financiera perder con cierta probabilidad sobre un horizonte de tiempo dado. Reduce el riesgo asociado (en el mercado) con cualquier portafolio a solo un número, que es la pérdida asociada con una probabilidad dada.[8]

VaR es el valor máximo que puede perderse sobre un cierto período dentro de un intervalo de confianza dado. El nivel de confianza refleja las condiciones extremas del mercado con una probabilidad de, por ejemplo, 2.5% o 1%.[9]

Las metodologías usadas para obtener el VaR son tres, simulación histórica, Enfoque de Varianza – Covarianza y la simulación Montecarlo. El mejor método no existe ya que dependiendo de la información disponible que se tenga es el método que se recomienda se use.[10]

1.3 OBJETIVOS.

Al final del trabajo se espera obtener:

1. Una metodología para la cuantificación del riesgo económico en proyectos de Cogeneración y en general en proyectos Industriales que impliquen inversión.
2. Una manera de conocer el riesgo de inversión en proyectos industriales utilizando herramientas y conceptos que actualmente se usan en medios puramente financieros como es el VaR que se utiliza en portafolios de inversión y muy poco en proyectos industriales.
3. Un modelo que sea de utilidad para que a partir de datos estadísticos en una determinada industria le permita conocer, dentro de un nivel de confianza establecido, la factibilidad de hacer este tipo de inversiones.

1.4 HIPÓTESIS DEL TRABAJO.

Los proyectos de cogeneración son de inversión alta y rentables, sin embargo, dada su complejidad y factores que influyen en este, pueden presentar un nivel de riesgo tal que esta inversión se pueda perder, este nivel de riesgo puede ser cuantificable a través del VaR.

1.5 ¿QUÉ TAN RIESGOSO ES INVERTIR EN UN PROYECTO DE COGENERACIÓN?

Cuando el VaR determinado es 100% significa que se corre el riesgo de perder el total de la inversión en estos proyectos. Cuando el VaR determinado es 0% significa que no existe riesgo de perder la inversión en estos proyectos. En ambos casos el riesgo medido es a partir de las variables definidas que se consideran influyen en estos proyectos.

1.6 APORTE DEL DOCUMENTO DE INVESTIGACIÓN.

Al final del documento se tendrá una metodología del uso del VaR que no se limita a las variables aquí presentadas, sino que podrá ampliarse a la cantidad de variables que se consideren importantes, siempre y cuando se tenga información estadística de su comportamiento, no sólo eso, sino que la metodología no se limita solo a proyectos de cogeneración o generación de energía en cualquiera de sus modalidades, sino a cualquier tipo de proyecto industrial en el que se definan variables que se consideren importantes para que el proyecto fracase y se conozca su comportamiento estadístico.

Esta herramienta servirá como base de información a un industrial o inversionista para la toma de decisión, conociendo el riesgo financiero cuantificado en el que podría incurrir.

1.7 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO DE INVESTIGACIÓN.

- ⇒ Capítulo 2. Estado del Arte. Revisión bibliográfica y otras fuentes del análisis de riesgo en proyectos de Cogeneración, evaluación de estos riesgos mediante VaR, redes neuronales para la predicción de precios y determinación del VaR con estas predicciones.
- ⇒ Capítulo 3. Metodología y Resultados. Que explica a detalle las herramientas de simulación a utilizar, incluye los temas de resultados obtenidos, análisis y discusión de resultados.
- ⇒ Capítulo 4. Conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE.

Este capítulo se da una revisión bibliográfica y otras fuentes del análisis de riesgo en proyectos de Cogeneración, evaluación de estos riesgos mediante VaR, redes neuronales para la predicción de precios y determinación del VaR con estas predicciones.

Estableciendo la relación entre la cogeneración – el riesgo en la administración de proyectos – y el VaR como herramienta de cuantificación de este riesgo.

2.1. COGENERACIÓN.

2.1.1. DEFINICIÓN.

Harold P. Langford y Larry Scheuermann (1988)[11] establecen que los productores o fabricantes de algún bien alrededor del mundo requieren de energía constante, no interrumpida y a un bajo costo para mantenerse competitivos en un mercado global. Ven a la cogeneración como una alternativa que ofrece bajo costos de generación de energía, alta eficiencia en uso de combustible y flexibilidad que se moldea a las necesidades de los industriales. Definen la cogeneración como la producción de electricidad y energía térmica a partir de una fuente de energía o combustible. Adicionalmente, mencionan que la tecnología no solamente ha reducido el costo de la energía eléctrica, sino también ha reducido la cantidad de emisiones a la atmósfera.

La ley del Servicio Público De Energía Eléctrica en México define a la cogeneración como la producción de energía eléctrica conjuntamente con vapor u otro tipo de energía térmica secundaria, o ambas.[12]

2.1.2. SITUACIÓN ENERGÉTICA EN MÉXICO.

De acuerdo a las tarifas publicadas por CFE[13] para una empresa conectada en tensión media (HM), estas han ido incrementando en los últimos 3 años. Por otro lado, datos estadísticos de empresas privadas en la zona metropolitana muestran baja calidad en la red de suministro eléctrico por CFE (interrupción del suministro del servicio eléctrico, variaciones en voltaje, etc.) Por lo que hace necesario al industrial buscar alternativas de generación propia a un menor costo.

De acuerdo con la CONAE México tiene una capacidad instalada de generación de 44,000 megawatts eléctricos, de los cuales 1,427 se producen a partir de sistemas de cogeneración, lo que representa 3% de la capacidad instalada generada por cogeneración. En México se pueden instalar sistemas de cogeneración en 1,700 empresas que representa un total de 12,000 megawatts.[14]

El sector energético es una de las actividades económicas más importantes México y la principal fuente de recursos gubernamentales.

- El sector energético contribuye con al 3% del PIB.
- Las exportaciones petroleras suman el 8% del total nacional.
- El 37% de los ingresos públicos provienen de impuestos a PEMEX.
- Las empresas públicas energéticas emplean alrededor de 250,000 trabajadores.
- El servicio eléctrico llega al 95% de la población nacional, uno de los niveles de cobertura más altos de Latinoamérica.

México es uno de los principales actores en el mercado energético mundial. En el 2004 ocupaba las siguientes posiciones:

Actividad	Posición Mundial
Producción de Petróleo Crudo.	3
Producción de Petróleo como Compañía (PEMEX)	5
Producción de Petróleo como País	8
Producción de Gas Natural como País	9
Reservas Probadas de Petróleo	9
Reservas Probadas de Gas Natural	21
Generación de electricidad como compañía (CFE)	6
Generación de electricidad como País	16

Tabla 2.1.2 Posición Mundial de PEMEX y CFE

De 1981 a 1998, México registró una tasa de crecimiento promedio anual de las emisiones de CO₂ del 1.9%, muy similar a la tasa de 2% de crecimiento promedio anual de la economía en ese mismo período. Sin embargo, en ese mismo período, la actividad económica se ha caracterizado por una menor intensidad de emisiones de carbón. Esto se debe a que la economía mexicana se ha hecho más eficiente en el uso de la energía. En ese mismo sentido, existe una tendencia ligeramente decreciente de la tasa de emisiones de CO₂ en la generación de oferta interna bruta de energía.

Sin embargo, el país enfrenta a retos importantes como:

Garantizar la oferta energética nacional, frente a una de las mayores tasas mundiales de crecimiento en la demanda energética.

- Atender los requerimientos de inversión para expandir para la infraestructura necesaria.
- Llevar a cabo una reforma estructural que mejore la que eficiencia y la calidad de los servicios.
- Fortalecer el marco regulatorio e institucional, a fin de promover la infraestructura energética.
- Seguir adelante en la transformación de PEMEX y CFE en compañías de clase mundial.

En los próximos diez años la demanda de electricidad se incrementará en 70%, la de gas LP en 35%, la de gas natural en 120% y la de combustibles líquidos, gasolina, diesel y querosina, crecerá 45%.

El crecimiento anual de la demanda de electricidad de 5.5% será impulsado principalmente por dos sectores: el industrial y el residencial. En los próximos 10 años, 27,400 MW de nueva capacidad de generación se adicionarán al Sistema Eléctrico Nacional, un alto porcentaje será con plantas del tipo Ciclo combinado y cogeneración. La alta rentabilidad económica y eficiencia térmica de estas plantas ha sido un factor determinante en la creciente complementariedad entre el sector eléctrico y el gas natural. La mayor parte de la capacidad de generación esta basada en plantas convencionales de vapor e hidroeléctricas. La alta tasa de crecimiento en la demanda eléctrica abre oportunidades para los privados en el desarrollo de infraestructura.[15]

2.1.3. INCERTIDUMBRE EN PROYECTOS DE COGENERACIÓN.

Reinhard Madlener, Gürkan Kumbaroglu, Volkan S. Ediger (2005)[116] Encuentran que en mercados eléctricos como el de Turquía en el que existe un incremento en adoptar tecnologías de generación de energía mediante el uso del gas natural en años recientes, en tanto se contribuye a la sustentabilidad ambiental, ha tenido méritos dudosos desde la perspectiva de un inversionista. Esta incertidumbre se debe básicamente a la alta volatilidad del precio del gas natural en el mercado de combustibles.

2.2. RIESGO EN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS.

De acuerdo al *Project Managemnt Institute* (PMI) en su más reciente publicación del *Project Management Book Of Knowladge* (PMBOK 2004)[17], mismo que se publica cada 4 años, incluye al riesgo como una de las nueve áreas de conocimiento en la administración de proyectos y este cuenta con seis procesos para su gestión que son la planificación, identificación, análisis cualitativo y cuantitativo, la planificación de la respuesta al riesgo y el seguimiento y control del riesgo.

Steven w. Wageman (2004)[18]. Habla de la importancia del análisis de riesgo en proyectos y de cómo se va haciendo más necesario en la industria, publicando un documento en el que usa procesos reiterativos secuenciales en los procesos de planeación, identificación, categorización, análisis, priorización, desarrollo de respuestas monitoreo y control del riesgo en la

administración de proyectos. De manera similar David Parker y Alison Mobey (2004)[19] hablan en su publicación de la importancia de valorar y entender el riesgo en la administración de proyectos.

2.3. VALOR EN RIESGO (VAR).

Wayne Winston (2000)[20] define el VaR como el valor en riesgo de un portafolio de inversiones en un punto futuro como el quinto percentil de pérdida en el valor de ese portafolio en el tiempo en ese punto. De manera breve, se considera ser una oportunidad en 20 de que la pérdida del portafolio excederá el VaR calculado. Mabouba Diagne (2002)[21] la define de manera más general como, el valor que un portafolio de inversiones puede perder con una probabilidad dada; sobre un cierto horizonte de tiempo (usualmente uno o diez días), pero hace hincapié en su complejidad estadística para su determinación, mencionando, pese a su simplicidad conceptual, su medición es un problema estadístico muy complejo y ninguno de las metodologías desarrolladas a esas fechas da soluciones satisfactorias. Dada la complejidad de su medición, Turan G. Bali (2003)[22] publica un artículo en el cual determina el tipo de distribución asintótica para cambios extremos en los rendimientos del tesoro de los Estados Unidos con un enfoque de valor extremo para la determinación del VaR.

Cormac Buttler, da la siguiente introducción a su libro, *Mastering Value at Risk*, es importante señalar que este libro es una guía práctica que maneja el VaR desde la perspectiva financiera y portafolio de inversiones, su introducción es:

¿Qué es el riesgo? En términos simples el riesgo mide que tan volátiles son los retornos de activos. Dadas las pérdidas sustanciales que la mayoría de los bancos y corporaciones han sufrido los departamentos de riesgo se vuelven más prominentes. Se requieren más a los consultores de riesgo, pero el deseo por entender el riesgo no simplemente se confina a los reguladores y administradores del riesgo de varios bancos. Los negociantes pueden mejorar su desempeño si tienen un mejor entendimiento de cómo crece el riesgo y más importantemente, como puede ser advertido. Los reguladores y administradores de riesgo necesitan tener tantas herramientas como sea posible para controlar el riesgo y aún para explotarlo. El Valor en Riesgo es una aproximación para identificar lo que causa el riesgo y que políticas son efectivas en la reducción del riesgo.

Para principiantes y muchos negociantes el Valor en Riesgo (VaR) se refiere con frecuencia como “algún modelo matemático” que soñó algún científico espacial – el cual probablemente no trabaja –. Los modelos del VaR ciertamente tienen sus imperfecciones. Sin embargo, el concepto ha atraído a los mejores nombres en el manejo del riesgo quienes han trabajado junto con los matemáticos altamente calificados para construir un sistema el cual está diseñado para monitorear y reducir el riesgo. El sistema tiene muchas críticas de ambos de negociantes experimentados y matemáticos quienes han encontrado problemas con algunas de las suposiciones – pero que no significa que debemos ignorarlos –. Aunque el Valor en Riesgo puede no ser la solución perfecta, sí señala la forma en la que el riesgo se desarrolla, en esa extensión, vale la pena conocerlo.

Más importantemente, desde el punto de vista de los negociantes, el conocimiento del trabajo interno del VaR es muy útil, particularmente cuando se están ideando estrategias de negocios.

2.3.1. VAR EN MERCADO DE ENERGÉTICOS.

El VaR como un parámetro de medición en mercados puramente financieros, se ha utilizado en otros sectores como el energético, L. W. Dahlgren, C. Liu y J. Lawarree (2001)[23] debido a la volatilidad que presentan los precios en el mercado eléctrico y de generación de energía, introducen al VaR como un parámetro para medir el riesgo en este sector, midiendo el riesgo principalmente en la compañía generadora de electricidad que provee carga eléctrica a usuarios sin contrato de suministro. J. David Cabedo, Ismael Moya (2002)[24] proponen utilizar el VaR para la cuantificación del riesgo en los precios del petróleo, proveyendo una estimación para el cambio máximo en el precio del crudo asociado con un nivel de confiabilidad, y que puede usarse para diseñar estrategias en la administración de riesgos. Tim Krehbiel y Lee C. Adkins (2003)[25] estiman parámetros de cola y construyen estadísticas de riesgo para distribuciones incondicionales de cambios de precios logarítmicos diariamente del complejo de energía NYMEX (índice de precios de combustibles – incluye al gas natural – en Nueva York que sirve de referencia a nivel internacional, entre ellos México) y que aplica los métodos de valor extremo para estimar el VaR y estadísticas de riesgo relacionadas de las colas de distribución condicional para estos combustibles comunes.

Michel Denton, Adrian Palmer, Ralph Masiello y Meter Skantze (2003)[26] describen como el riesgo en operaciones en el mercado de energía se puede medir usando modelos de opciones reales y técnicas de optimización estocástica. Explora el riesgo a largo plazo en el manejo de portafolios de energía y como estos pueden simularse, medirse y optimizarse usando el VaR, como medida del riesgo. En ese mismo año, de hecho en esa misma publicación Robert Dahlgren, Chen-Ching Liu, and Jacques Lawarree (2003)[27] proveen un resumen del estado del arte de valoración del riesgo en transacciones de energía. Menciona las herramientas que han sido adaptadas al ambiente específico de los sistemas de generación eléctrica incluyendo análisis de portafolios e instrumentos de coberturas, incluyendo el VaR como uno de los instrumentos adaptados a este mercado. D. Paravan, G. B. Sheblé y R. Gojob (2004)[28] presentan una metodología para administrar el riesgo de un portafolio de energía, el cual incluye valoración de generación y contratos de energía implementando el valor en riesgo condicional (CvaR). Manejando diferentes variables en la determinación del riesgo en el mercado de energía, Jordi Cabero, Álvalro Baíllo, Santiago Cerisola, Mariano Ventosa, Antonio García – Alcalde, Fernando Perán y Gregorio Relaño (2005)[29] presentan una metodología para manejar el riesgo que enfrenta una compañía de generación eléctrica mediante una planta hidrotérmica en el mediano plazo (un año). Este riesgo es debido a la incertidumbre en los precios de combustibles, demanda de potencia, flujos de agua y precios de electricidad. El modelo de optimización permite la representación de un diversificado portafolio de inversión y mide la exposición al riesgo por medio del CvaR.

Kjersti Aas and Kjetil F. Karesen (2003)[30], en su trabajo de predicción con la matriz de co – varianza variables con el tiempo para futuros de precios en electricidad, establece desde su

introducción lo siguiente: los jugadores en el mercado de energía no regulado, se enfrentan con situaciones retadoras diariamente en la planeación de la producción, optimización de portafolios, derivados de precios y el manejo de riesgo. Debido a la naturaleza tan volátil e impredecible de los precios de electricidad, estos retos son naturalmente abordados con modelos de precios estocásticos. Los grandes jugadores del mercado típicamente tienen grandes portafolios que consisten de precios spot dependiendo de sus activos y contratos futuros. Los precios spot y futuros se correlacionan altamente. La exitosa optimización de un amplio portafolio demanda un modelo que junte a los precios spot y futuros por la correlación entre los diferentes activos. El documento que ellos presentan, muestra como desarrollar un modelo de unión para un portafolio de productos futuros de electricidad. El propósito de su modelo tenía la capacidad de predecir el valor de la matriz de covarianza del portafolio, para lo cual se necesitaba calcular el VaR diariamente.

Saša Žikovic y Tanja Fatur (2006)[31] en su artículo sobre la medición de la volatilidad del precio del petróleo (crudo) como un medio para manejar el riesgo, mide la volatilidad del precio del crudo y su nivel de riesgo asociado en las inversiones del petróleo. Usando un modelo paramétrico normal del VaR que se usa en bancos y finanzas para medir la equidad y riesgo, los autores miden la pérdida máxima esperada de la compra / venta del petróleo sobre un período y un nivel de confianza establecido. Determinan que un modelo simple del VaR, tal como un modelo paramétrico normal da resultados satisfactorios en el pronóstico y la medición de la volatilidad del precio del crudo sobre un período de tiempo probado e intervalos de confianza. Además presentan y analizan la aplicabilidad del algoritmo estacional *Holt – Winter* como un medio de pronóstico de precios del crudo.

2.3.2. USO DE REDES NEURONALES Y VAR.

Una técnica usada para la determinación del VaR es a través del uso de redes neuronales, esta herramienta siendo una rama de la inteligencia artificial ha sido usada ampliamente para la predicción de valores en una serie de datos estadísticos (Mabouba Diagne, 2002, ver referencia 10). Ralph Prinzler (1999)[32] publica un artículo en el que brevemente muestra como las redes neuronales pueden aplicarse para calcular el VaR. Se enfoca en la confiabilidad del VaR usando el método de las agujetas de botas. Nicolas Chapado y Yoshua Bengio (2001)[33] introducen un cuadro de referencia de designación de activos basado en el control activo del VaR del portafolio. Dentro de este cuadro de referencia comparan dos paradigmas para hacer la asignación usando redes neuronales. El primero usa la red para hacer un pronóstico del comportamiento de los activos, el segundo usa la red para tomar directamente la decisión de la designación de activos. Li Zhang, Peter B. Luh y Krishnan Kasiviswanathan (2003)[34] utilizan redes neuronales con estructura de cascada para la predicción de precios en el mercado de energéticos. Yan Liu (2005)[35] compara tres métodos para combinar los modelos del VaR – la combinación de métodos reducen la inestabilidad de pronósticos y mejora los resultados obtenidos del VaR – el primero es un simple promedio de las combinaciones, el segundo es la tradicional regresión lineal del quintil condicional, y el tercero es una regresión no lineal del quintil condicional usando redes neuronales artificiales. Resultados empíricos indican que las redes neuronales artificiales tienen un desempeño superior sobre los otros dos métodos.

2.4. MAPA MENTAL.

El siguiente mapa mental muestra la relación entre el proyecto de cogeneración, la administración de riesgos y el valor en riesgo (VaR). Esta relación se da, una vez definida la cogeneración como proyecto y habiendo explorado la situación energética nacional, así como su importancia de implementación en la industria, se explora el porqué no se instalan estos sistemas, llegando a la conclusión de que un factor muy importante es la incertidumbre que se tiene en estos proyectos. Como buenas prácticas en la administración de proyectos, de acuerdo al PMBOK®, es necesario analizar el riesgo que este tipo de proyectos involucra, dado que este trabajo se enfoca al riesgo económico en este proyecto, se establece como parámetro de medición de este riesgo el VaR. Este parámetro generalmente se utiliza como un medio de medición del riesgo puramente financiero en portafolios de inversión, por lo que hace necesario investigar su uso en mercados energéticos y con la finalidad de tener un comportamiento en una proyección en diferentes períodos, se usa redes neuronales como herramientas de predicción.

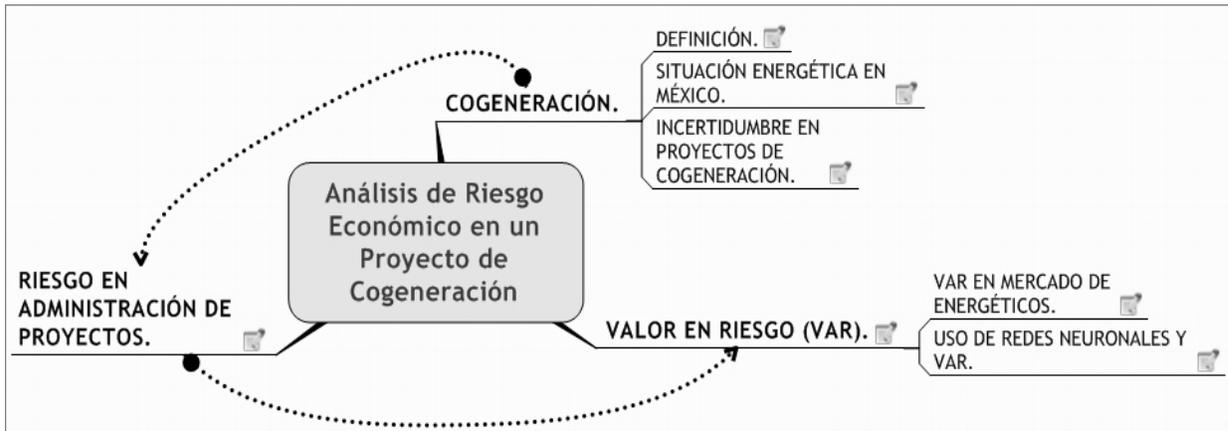


FIGURA 2.1 MAPA MENTAL DEL ESTADO DEL ARTE EN ANÁLISIS DE RIESGO ECONÓMICO EN UN PROYECTO DE COGENERACIÓN.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA Y RESULTADOS.

Explica la metodología y el uso del VaR, así como los resultados numéricos en la aplicación de esta metodología en el caso particular de este estudio. Hace un análisis y discusión de estos resultados.

3.1. DEFINICIONES MATEMÁTICAS PREVIAS A LA METODOLOGÍA DE LA OBTENCIÓN DEL VAR.

Hay definiciones matemáticas básicas que deben recordarse previo a la explicación de la metodología de la obtención del VaR para una mayor y mejor comprensión de cada uno de los puntos explicados en la sección 3.2.

Se estarán estudiando conceptos de matemática estadística [36] y algebra lineal.

3.1.1. ESTADÍSTICA.

- Media.

Quizá la medida numérica más importante de localización de una variable sea la media o el promedio de una variable, que es una medida de localización central. Si los datos proceden de una muestra el promedio se representa con \bar{X} ; si proceden de una población se utiliza la letra griega μ .

En las fórmulas estadísticas, se acostumbra denotar el valor de las variables x para la primer observación mediante la x_1 , el valor x para la segunda observación, etc. En general, el valor de x para la i – ésima observación se denota mediante x_i . Para una muestra con n observaciones, la fórmula de la media de la muestra es como sigue:

$$\bar{X} := \frac{\sum x_i}{n}$$

En la fórmula, el denominador es la suma de las n observaciones. Es decir,

$$\sum x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_n$$

La letra griega Σ es el símbolo de la suma o sumatoria. La fórmula para calcular la media de una población es la misma, aunque se usa distinta notación para indicar que se indica que se trabaja con toda la población. La cantidad de elementos de la población se representa por N y el símbolo de la media de la población es μ .

- Mediana.

La mediana es otra medida de la localización central de los datos. Es el valor intermedio cuando los valores se ordenan en forma ascendente (de menor a mayor). Con un número impar de observaciones, la mediana es el valor intermedio. Un número par de observaciones no tiene un valor intermedio. En este caso se sigue la convención de definir la mediana como el promedio de los valores de las dos observaciones intermedias.

- Moda.

Una tercera medida de localización es la moda, y se define como el valor de datos que se presenta con más frecuencia.

- Percentiles.

Un percentil da información acerca de cómo se distribuyen los valores sobre el intervalo, desde el menor hasta el mayor. Para datos que no tienen muchos valores repetidos, el p – ésimo percentil divide los datos en dos partes. Más o menos el p por ciento de las observaciones tienen valores menores que el p – ésimo percentil. Aproximadamente $(100 - p)$ por ciento de las observaciones tienen valores mayores que el p – ésimo percentil. Este percentil se define como:

El p – ésimo percentil es un valor tal que por lo menos p por ciento de las observaciones son menores o iguales que este valor y por lo menos $(100 - p)$ por ciento de las observaciones son mayores o iguales que este valor.

- Cuartiles.

Con frecuencia se dividen los datos en 4 partes cada una con aproximadamente la cuarta parte, o el 25% de las observaciones. A estas divisiones se les llama cuartiles y se definen como sigue:

Q_1 = primer cuartil, o percentil 25.

Q_2 = segundo cuartil, o percentil 50 (también la mediana).

Q_3 = tercer cuartil o percentil 75.

Además de las medidas de localización, con frecuencia es conveniente considerar medidas de dispersión o variabilidad. Algunas de las medidas que se usan con más frecuencia para la dispersión o variabilidad son:

- Rango.

Quizá la medida más sencilla de dispersión en un conjunto de datos sea el rango, este se calcula:

$$\text{Rango} = \text{Valor Máximo} - \text{Valor Mínimo.}$$

Aunque el rango es la medida de dispersión más fácil de calcular, casi nunca se usa como la única medida de dispersión. La razón es que se basa sólo en dos de las observaciones, y en consecuencia, esta muy influido por los valores extremos de los datos.

- Rango intercuartil.

Una medida de dispersión que elimina la influencia de los valores extremos de los datos es el rango intercuartil (RIC). Esta medida de dispersión es la diferencia entre el tercer cuartil Q_3 y el primero Q_1 . En otras palabras, el rango intercuartil corresponde al rango del 50% intermedio de los datos.

$$\text{RIC} = Q_3 - Q_1$$

- Varianza.

La varianza es una medida de dispersión que emplea todos los datos. Se basa en la diferencia entre el valor de cada observación (x_i) y la media. La diferencia entre cada x_i y el promedio se llama desviación respecto al promedio. Para una muestra la desviación respecto a la media se expresa $(x_i - \bar{X})$, para una población la desviación respecto a la media se expresa $(x_i - \mu)$. Para calcular la varianza, las desviaciones respecto al promedio se elevan al cuadrado.

Si el conjunto de datos es una población, el promedio de las desviaciones al cuadrado se llama varianza de la población y se representa con el símbolo griego σ^2 . Para una población de N observaciones, cuando μ representa el promedio de esa población, la definición de la varianza de la población es como sigue:

$$\sigma^2 = \Sigma(x_i - \mu)^2 / N$$

- Desviación Estándar.

La desviación estándar se define como la raíz cuadrada positiva de la varianza.

- Coeficiente de Variación.

En algunos nos puede interesar una medida estadística descriptiva que indique lo grande que es la desviación estándar en comparación con la media. A esta media se le llama coeficiente de variación y se calcula como sigue:

$$\text{Coeficiente de Variación} = \text{Desviación estándar} / \text{Media} * 100$$

- Covarianza.

Es una medida de asociación entre dos variables. Para una muestra de tamaño n con las observaciones correspondientes $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ etc., la covarianza de la muestra se define como sigue:

$$S_{xy} = \Sigma(x_i - X)(y_i - Y) / (n-1)$$

Si el resultado es positivo la relación tiene relación lineal positiva, si es negativo, la relación lineal es negativa, si es cero no existe relación lineal.

- Coeficiente de Correlación.

Para los datos de una muestra, se define el coeficiente de correlación como sigue:

$$r_{xy} = S_{xy} / (S_x * S_y)$$

r_{xy} = coeficiente de correlación de la muestra.
 S_{xy} = Covarianza de la muestra.
 S_x = desviación estándar de la muestra x.
 S_y = desviación estándar de la muestra y.

Un coeficiente de correlación muestral +1 corresponde a una relación lineal positiva perfecta entre x y y . Un coeficiente de correlación muestral -1 corresponde a una relación lineal negativa perfecta entre x y y . Si el valor se cero indica que no hay relación lineal entre x y y , valores cercanos a cero señalan una relación lineal débil.

- Intervalo de Confianza.

Un estimador por intervalos es una regla que especifica cómo usar las mediciones de la muestra para calcular dos números que forman los extremos del intervalo. En el caso ideal el intervalo generado posee dos propiedades: primero, contiene el parámetro objetivo θ ; segundo, su amplitud es relativamente pequeña. Uno o los dos extremos del intervalo varían aleatoriamente de una muestra a otra en virtud de que son funciones de las mediciones de la muestra. Por consiguiente, la longitud y la ubicación del intervalo son cantidades aleatorias, así que no podemos estar seguros de que el parámetro objetivo θ (fijo) esté entre los extremos de un intervalo obtenido a partir de una muestra. En este caso, nuestro objetivo es definir un estimador por intervalos capaz de generar intervalos estrechos que tengan una probabilidad alta de incluir a θ .

Los estimadores por intervalos por lo general reciben el nombre de intervalos de confianza. Los extremos superior e inferior de un intervalo de confianza se denomina límites superior e inferior respectivamente de un intervalo de confianza. La probabilidad de que un intervalo de confianza incluya a θ recibe el nombre de coeficiente de confianza. Desde un punto de vista práctico, el coeficiente de confianza representa la fracción de veces, en un muestreo repetido, que los intervalos generados contienen al parámetro objetivo θ . Si sabemos que el coeficiente de confianza relacionado con nuestro estimador tiene un valor alto, estaremos suficientemente seguros de que cualquier intervalo de confianza generado con los resultados de una sola muestra incluirá a θ .

3.1.2. ALGEBRA LINEAL.

En esta sección se estarán revisando conceptos básicos de vectores, matrices y multiplicación de estas, debido a que la metodología para el cálculo del VaR requiere de hacer multiplicaciones vectoriales y matriciales, esta información es obtenida del libro Algebra Lineal.[37]

- Vector renglón de n componentes.

Se define a un vector renglón de n componentes como un conjunto ordenado de n números escritos de la siguiente manera:

$$[x_1, x_2, \dots, x_n]$$

- Vector columna de n componentes.

Un vector columna de n componentes es un conjunto ordenado de n números escritos de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

- Matriz.

Una matriz A de $m \times n$ es un arreglo rectangular de mn números dispuestos en m renglones y n columnas.

$$MA := \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mj} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

Cuando en una matriz $m = n$ se dice que es una matriz cuadrada.

- Producto Escalar.

Sean dos vectores a y b , los siguientes:

$$a := \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} \quad b := \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix}$$

El producto escalar de a y b , denotado por $a \cdot b$ está dado por: $a_1b_1 + a_2b_2 + \dots + a_nb_n$. Debido a la notación, el producto escalar con frecuencia se llama producto punto o producto interno de los vectores. Observe que el producto escalar de dos n – vectores es un escalar (es decir, es un número.)

Al tomar el producto escalar de a y b es necesario que a y b tengan el mismo número de componentes. Con frecuencia se tomará el producto escalar de un vector renglón $a = [a_1, a_2, \dots, a_n]$ y un vector columna b . En este caso el resultado es $a_1b_1 + a_2b_2 + \dots + a_nb_n$ un número real (un escalar.)

- Producto de Matrices.

Sea $A = (a_{ij})$ una matriz de $m \times n$, y sea $B = (b_{ij})$ una matriz de $m \times p$, $C = (c_{ij})$, en donde

$$c_{ij} = (\text{renglón } i \text{ de } A) \cdot (\text{columna } j \text{ de } B)$$

Es decir, el elemento ij de AB es el producto punto del renglón i de A y la columna B . Si esto se extiende, se obtiene

$$c_{ij} = a_{i1}b_{1j} + a_{i2}b_{2j} + \dots + a_{in}b_{nj}$$

Si el número de columnas de A es igual al número de renglones de B , entonces se dice que A y B son compatibles bajo la multiplicación. Los vectores renglón y columna deben tener el mismo número de componentes.

$$\begin{bmatrix} c_{00} & c_{01} & c_{02} \\ c_{10} & c_{11} & c_{12} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_{00} & d_{01} \\ d_{10} & d_{11} \\ d_{20} & d_{21} \end{bmatrix} \text{ da como resultado,}$$

$$\begin{bmatrix} c_{00} \cdot d_{00} + c_{01} \cdot d_{10} + c_{02} \cdot d_{20} & c_{00} \cdot d_{01} + c_{01} \cdot d_{11} + c_{02} \cdot d_{21} \\ c_{10} \cdot d_{00} + c_{11} \cdot d_{10} + c_{12} \cdot d_{20} & c_{10} \cdot d_{01} + c_{11} \cdot d_{11} + c_{12} \cdot d_{21} \end{bmatrix}$$

Es decir que al multiplicar la matriz c de 2×3 por una matriz d de 3×2 da como resultado una matriz de 2×2 .

3.2. METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DEL VAR.

La metodología del cálculo del VaR se basa en la manera estándar en la que este se calcula en el mercado de valores y a lo publicado por Comarc Butler, en su libro “*Mastering Value at Risk.*”[38]

3.2.1. SELECCIÓN DE LAS VARIABLES A ESTUDIAR.

Para este caso se seleccionan 4 variables y se obtienen de diversas bases de datos mes a mes desde el año 2000 hasta el 2005:

- ❖ *Tarifa eléctrica.* Que comprende el precio del kWh promedio de acuerdo a lo publicado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE).
- ❖ *Tasa de Interés.* Publicado por el banco Inglés como la tasa libor – “*London InterBank Offered Rate*” – esta tasa es comúnmente usada en préstamos internacionales.
- ❖ *Tipo de cambio.* Es la paridad entre el dólar americano y el peso mexicano, debido a que los financiamientos se hacen en dólares y los ingresos en la industria Mexicana sino es exportadora se tienen en pesos mexicanos, este índice se publica en la base de datos del Banco de México.
- ❖ *Precio del Gas Natural.* Debido a que este precio esta ligado al mercado americano, este precio tiene variaciones considerables tanto a la alza como a la baja, se publica en la página de PEMEX.

Las variables arriba seleccionadas, fueron consideradas por las siguientes razones:

- ❖ Existe información estadística Oficial y publicada de las mismas.

- ❖ De acuerdo a la experiencia en 10 años y 3 empresas diferentes de manejar estos proyectos son los que he observado que al industrial más le preocupa.
- ❖ Se tomó la opinión de 3 expertos dedicados a la instalación, puesta en marcha, operación y mantenimiento de equipos de estos proyectos (Ver anexo 2) y consideraron adecuadas esas variables, con excepción de la tasa de la variación en la tasa de interés en uno de los 3 entrevistados. La razón por la que solo se cuestionaron a 3 expertos es porque en México son los de mayor presencia en la industria nacional.
- ❖ Otras variables que se pudieron considerar y no se presentan por falta de información estadística oficial en este trabajo, se muestran como parte de la respuesta de uno de los expertos en el mismo anexo 2.

La variable de disturbios en la red eléctrica como variación de voltaje, suspensión de energía, etc., no se consideraron por carecer de información fidedigna respecto a este comportamiento y no se publica oficialmente por ningún organismo de gobierno o iniciativa privada, por lo que la información recopilada arroja datos que llevan a interpretaciones erróneas en los resultados.

Con esta información estadística, en un trabajo futuro, se propone se haga una proyección para los siguientes 5, 10 y 15 años usando como herramienta de pronóstico Redes Neuronales (RN).

3.2.1.1. Redes Neuronales.

La herramienta que se recomienda utilizar en un trabajo futuro para pronosticar tanto la tendencia como la variación son las Redes Neuronales, estas se han usado ampliamente para el pronóstico en series de tiempo.

La RN esta hecha de: una capa de entrada, cuyos elementos son los datos que se van a procesar; una capa de salida, la cual provee la salida de la red; y una o varias capas ocultas, la cual procesa la información entrante. Como puede verse la capa de entrada en realidad no es una capa, sino, los datos de entrada a la primera capa oculta. Cada capa puede formarse por un número variable de unidades llamadas neuronas. Cada neurona calcula la suma de pesos de todas sus entradas y una constante. Los resultados se procesan por una función de activación que provee la salida de la neurona:

$$s_j^i = \sum_k w_{jk}^i y_k^{i-1} + \theta_j^i, \quad y_j^i = \sigma(s_j^i). \quad (1)$$

En esta expresión s_j^i representa la actividad de la neurona j en la capa i , w_{jk}^i la fuerza (peso) de las conexiones entre esta neurona y todas aquellas en la capa previa y y_j^i la salida de la neurona, mientras que θ_j^i es una constante.

La función de salida $\sigma(s_j^i)$ representa un elemento importante del paradigma de la red neuronal ya que suplente al modelo con una capacidad de procesamiento no – lineal, que permite a estas estructuras identificar el comportamiento no – lineal inherente al complejo dinámico. Las funciones de salida que con mayor frecuencia se usan son las llamadas sigmoideas por su forma

de “corte en S”. Puede ser la función logística cuando una salida necesita incluirse en los intervalos [0,1], o la tangente hiperbólica cuando el intervalo deseado es [-1,1]. El uso de otro tipo de funciones de salida como lineales, lineales de piezas finitas, son además estándar.

Una combinación de ambas funciones lineales y no lineales se encuentran generalmente en la literatura, en donde una configuración muy común es el uso de la función no lineal para una capa oculta y una función lineal para una salida. Esta estructura se basa en el hecho de que la información procesada trabaja a través de las capas ocultas, en tanto que la capa de salida usualmente provee solamente una adaptación de la respuesta de la RN a la magnitud esta respuesta tiene que estar sobre el problema en el que la red fue diseñada a resolver.

La capacidad de aprendizaje de la RN es provista por la adaptación de los pesos de entrada de cada neurona. Este proceso trabaja presentando un grupo de rutas de entrada y las salidas deseadas a la red y después modificar cada peso hasta que una función de error alcanza un mínimo o cae por debajo de un valor establecido. La forma en la que este proceso de adaptación se lleva a cabo define la estrategia de aprendizaje de la RN. El algoritmo bien conocido de retro – propagación “*backpropagation*” generalmente se selecciona para hacer este trabajo. Usa el error de mínimos cuadrados como una función de error.

$$E = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^{N_o} (d_k^p - y_k^p)^2 \quad (2)$$

En esta función, E es la función de error; y_k^p es la salida de la k -ésima neurona de salida para la p -ésima ruta de salida; d_k^p es la salida deseada de la k -ésima neurona de salida para la p -ésima ruta de salida; N_o es el número de neuronas de salida; y P es el número de rutas de entrenamiento.

Con estas funciones, es posible calcular una expresión que relacione el gradiente de la función del error global a cada peso de las neuronas en la capa de salida:

$$\frac{\partial E}{\partial w_{jk}} = - \sum_{p=1}^P (d_k^p - y_k^p) \cdot \sigma'(s_k^p) \cdot y_j^p \quad (3)$$

De donde w_{jk} representa el peso que conecta a la neurona oculta j -ésima con la k -ésima unidad de salida; $\sigma'(s_k^p)$ es la derivada de la función de salida con respecto a la actividad de la k -ésima neurona de salida para la p -ésima ruta de salida; s_j^p y y_j^p representan la salida de la j -ésima neurona de la capa oculta procedente de una salida de la p -ésima ruta.

Así que el nuevo valor para el peso actualizado es:

$$w_{jk}(t+1) = w_{jk}(t) - \eta \frac{\partial E}{\partial w_{jk}} \quad (4)$$

Con η siendo un parámetro ajustable llamado “velocidad de aprendizaje.”

La actualización de pesos de las neuronas en las capas ocultas se lleva a cabo de una manera similar y una expresión equivalente a la ecuación (4) será obtenida.

Muchos algoritmos pueden usarse para desarrollar estos cálculos.[39]

3.2.2. OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN ESTADÍSTICA DE LAS VARIABLES Y FACTOR DE CORRELACIÓN ENTRE ELLAS.

Una vez seleccionadas las variables ya habiendo recabado la información histórica, que en este caso fue mes durante 6 años, se procede a calcular los parámetros estadísticos necesarios para el cálculo del VaR, esta información principal son la desviación estándar y la varianza de cada variable seleccionada.

Con los valores obtenidos mes a mes en el mismo período se grafican entre ellos y se determina el factor de correlación. Este factor de correlación se determina en Excel mediante la fórmula $=\text{coef.de.correl}(\text{matriz1},\text{matriz2})$ o bien mediante las funciones de análisis de datos. El coeficiente de correlación toma de valores entre -1 y 1 y mide el grado en el cual los valores de una variable se relacionan al valor de otra variable, si existe una fuerte relación entre dos variables, se dice que tienen una fuerte correlación. Una correlación con un valor de -1 implica una perfecta asociación lineal negativa, es decir, si el coeficiente de correlación obtenido entre la tarifa eléctrica y el precio del gas natural es -1 implica que a medida de que la tarifa eléctrica aumenta el precio del gas natural disminuye. Un factor de correlación de 1 implica una perfecta asociación positiva, en el mismo ejemplo si el factor de correlación entre la tarifa eléctrica es 1, entonces en la medida de que la tarifa eléctrica aumenta en la misma proporción aumenta el precio del gas. Y un factor de correlación 0 implica que no existe asociación lineal alguna entre las variables.

Además del factor de correlación, se calcula con los datos estadísticos la desviación estándar, también conocida como volatilidad, esta volatilidad es la medida de cuanto una variable fluctúa, esta fluctuación cuando es muy alta implica que un proyecto tiene un alto riesgo de que fracase o que se tengan ganancias muy altas, es decir, si el precio del gas natural tiene altas fluctuaciones cuando se encuentre en niveles bajos el proyecto tendrá ganancias altas, sin embargo, también se tiene el riesgo de que el precio del gas aumente considerablemente, dejando pérdidas al proyecto. Se calcula la desviación estándar y al elevar este valor al cuadrado se obtiene la varianza

La siguiente tabla muestra los resultados de los cálculos realizados para la obtención de estos datos estadísticos mencionados.

	Tarifa Eléctrica	Tasa de Interés	Tipo de Cambio	Precio Gas Nat.
--	-------------------------	------------------------	-----------------------	------------------------

	(MN/kWh)	(%)	(MN/USD)	(USD/MMBTU)
Desviación Est.	0.1402	1.9114	0.8276	3.7259
Varianza	0.0196	3.6533	0.6849	13.8823
Matriz de Factores de Correlación				
Tarifa Eléctrica (MN/kWh)	1	-0.32304	0.86356	0.19324
Tasa de Interés (%)	-0.32304	1	-0.51266	0.38035
Tipo de Cambio (MN/USD)	0.86356	-0.51266	1	0.05266
Precio Gas Nat. (USD/MMBTU)	0.19324	0.38035	0.05266	1

TABLA 3.2.2 VALORE ESTADÍSTICOS DE DATOS HISTÓRICOS DEL 2000 AL 2006 DE LAS VARIABLES SELECCIONADAS.

3.2.3. VALOR DE CONFIANZA Y MATRIZ DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR.

Debe establecerse un valor de confianza estadístico para el cálculo, para este caso se establece un 99% de confianza que equivale a 2.33 desviaciones estándar (función inversa de la distribución normal estándar.) Una volatilidad con 95% de confianza significa que la desviación estándar se multiplica por 1.645 desviaciones estándar – esto se conoce también como desviación estándar ajustada –. De la misma manera una volatilidad con 99% de confianza significa que la desviación estándar se multiplica por 2.326 desviaciones estándar – esto nuevamente se conoce como desviación estándar ajustada –.

Con los valores obtenidos en la tabla 3.1.2 se forma una matriz de 4X4 que contiene la desviación estándar obtenida en los datos históricos y ceros, a la que se nombra Matriz de Desviación Estándar.

0.1402	0	0	0
0	1.9114	0	0
0	0	0.8276	0
0	0	0	3.7259

TABLA 3.2.3 MATRIZ DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR.

3.2.4. MATRIZ DE COVARIANZA.

Al multiplicar la Matriz de Desviación Estándar por el número de desviaciones estándar, que se obtuvo en punto anterior en función del nivel de confianza, se forma una matriz de 4X4 llamada Matriz de Covarianza, que es la desviación estándar ajustada en un determinado nivel de confianza.

0.3260	0	0	0
0	4.4465	0	0
0	0	1.9252	0
0	0	0	8.6677

TABLA 3.2.4 MATRIZ DE COVARIANZA.

3.2.5. MATRIZ PRODUCTO DE LA M. COVARIANZA Y M. DE CORRELACIONES.

Con la matriz de correlaciones cuyos valores se muestran en la tabla 3.1.2 y multiplicándola por la Matriz de Covarianza de la tabla 3.1.4 mostrada arriba, la matriz de 4X4 resultante expresada en valores porcentuales es:

33%	-144%	166%	167%
-11%	445%	-99%	330%
28%	-228%	193%	46%
6%	169%	10%	867%

TABLA 3.2.5 MATRIZ PRODUCTO DE LA M. DE COVARIANZA Y LA M. DE CORRELACIONES.

Al multiplicar esta matriz resultante nuevamente por la matriz de covarianza se obtiene la Matriz de Varianza. Esto es debido a que la covarianza es la volatilidad ajustada, a la volatilidad también se le llama desviación estándar y por definición el cuadrado de la desviación estándar es la varianza, esta matriz de varianza se muestra a continuación:

11%	-47%	54%	55%
-47%	1977%	-439%	1466%
54%	-439%	371%	88%
55%	1466%	88%	7513%

TABLA 3.2.5B MATRIZ DE VARIANZA.

3.2.6. VECTOR DE PESO Y SIULACIÓN MONTECARLO.

En realidad en el mercado de valores se tiene el método estocástico o simulación Montecarlo, cuando el procedimiento involucra pedirle a una computadora generar una serie de precios usando un enfoque aleatorio. Este procedimiento puede ser muy complejo, y aunque en términos de precisión es el más efectivo, sufre del hecho de que consume tiempo y demanda de recursos computacionales. En donde los portafolios de inversión son enormes, se puede terminar con restricciones de “*hardware*”. La simulación estocástica es probablemente muy adecuada cuando un portafolio es muy complejo, particularmente en donde contiene muchas opciones.

- Simulación Monte Carlo.

Bajo el nombre de “Método de Monte Carlo” o “Simulación Monte Carlo” se agrupan una serie de procedimientos que analizan distribuciones de variables aleatorias usando simulación de números aleatorios.

El Método de Monte Carlo da solución a una gran variedad de problemas matemáticos haciendo experimentos con muestreos estadísticos en una computadora. El método es aplicable a cualquier tipo de problema, ya sea estocástico o determinístico.

Generalmente en estadística los modelos aleatorios se usan para simular fenómenos que poseen algún componente aleatorio. Pero en el método de Monte Carlo, por otro lado, el objeto de la investigación es el objeto en sí mismo, un suceso aleatorio o pseudo-aleatorio se usa para estudiar el modelo.

A veces la aplicación del método de Monte Carlo se usa para analizar problemas que no tienen un componente aleatorio explícito; en estos casos un parámetro determinista del problema se expresa como una distribución aleatoria y se simula dicha distribución. Un ejemplo sería el famoso problema de las Agujas de Bufón.

La simulación de Monte Carlo fue creada para resolver integrales que no se pueden resolver por métodos analíticos, para resolver estas integrales se usaron números aleatorios. Posteriormente se utilizó para cualquier esquema que emplee números aleatorios, usando variables aleatorias con distribuciones de probabilidad conocidas, el cual es usado para resolver ciertos problemas estocásticos y determinísticos, donde el tiempo no juega un papel importante.

El método fue llamado así por el principado de Mónaco por ser “la capital del juego de azar”, al tomar una ruleta como un generador simple de números aleatorios. El nombre y el desarrollo sistemático de los métodos de Monte Carlo data aproximadamente de 1944 con el desarrollo de la computadora electrónica. Sin embargo hay varias instancias (aisladas y no desarrolladas) en muchas ocasiones anteriores a 1944.

El uso real de los métodos de Monte Carlo como una herramienta de investigación, viene del trabajo de la bomba atómica durante la Segunda Guerra Mundial. Este trabajo involucraba la simulación directa de problemas probabilísticos de hidrodinámica concernientes a la difusión de neutrones aleatorios en material de fusión.

Aún en la primera etapa de estas investigaciones, John von Neumann y Stanislaw Ulam refinaron esta curiosa "Ruleta rusa" y los métodos "de división". Sin embargo, el desarrollo sistemático de estas ideas tuvo que esperar el trabajo de Harris y Herman Kahn en 1948. Aproximadamente en el mismo año, Fermi, Metropolis y Ulam obtuvieron estimadores para los valores característicos de la ecuación de Schrödinger para la captura de neutrones a nivel nuclear.

Para nuestro caso, se usará la simulación para contestar la pregunta, que pasa si. Cambiando el peso de importancia de cada variable.

Aquí se establece, de las variables escogidas, que importancia o peso específico tiene cada una de ellas para el cálculo del VaR. En el mercado de valores, en un portafolio de inversiones, se toma la decisión de invertir en diferentes acciones y se establece de una cantidad total a invertir, el porcentaje destinado para cada acción comprada, en ese caso el peso de cada acción es el porcentaje invertido del total de la inversión en cada acción. En este caso, no es una situación definida por un usuario, por lo que se realiza una simulación Montecarlo con cada variable con función uniforme con rango de 0 a 1 de tal manera que la suma de todas las variables nos dé la unidad. Después de haber realizado 1000 ensayos se establece el vector de Peso de 1X4 y de 4X1, siendo estos vectores los siguientes:

25%	25%	25%	25%
-----	-----	-----	-----

TABLA 3.2.6 VECTOR DE PESO (1X4).

25%
25%
25%
25%

TABLA 3.2.6B VECTOR DE PESO (4X1).

3.2.7. OBTENCIÓN DEL VAR.

Al multiplicar la Matriz Varianza por el Vector Renglón (1X4) de Peso, se obtiene otro vector de 1X4 con los siguientes resultados:

18%	739%	19%	2292%
-----	------	-----	-------

TABLA 3.2.7 VECTOR PRODUCTO DE LA MULTIPLICACIÓN DE LA MATRIZ VARIANZA POR EL VECTOR DE PESO 1 X 4.

Multiplicando el vector anterior por el vector Columna de Peso (4X1), se obtiene el escalar de 4.5% como una varianza, así que sacando la raíz cuadrada de dicho valor se obtiene un **VaR del 21.2%**.

Es importante mencionar que si los factores de correlación hubieran sido 1 todos, entonces el VaR obtenido se llamaría VaR no diversificado, ya que el valor obtenido sería el mismo calculándolo de manera matricial como se muestra aquí, o bien, calculándolo de manera directa sobre una sola de las variables; debido a que el coeficiente de correlación es diferente a la unidad, el VaR obtenido es diversificado.

3.2.7.1. OBTENCIÓN DEL VAR MAXIMIZADO.

Como los valores del peso se obtienen a partir de números aleatorios con distribución uniforme y son 4 variables, al realizar más de 30 ensayos, el comportamiento de estos números aleatorios tiene una tendencia normal, por lo que una distribución uniforme en cuatro variables después de 1000 ensayos, el promedio obtenido es del 25% en cada una. Por lo tanto, se realiza mediante un proceso de investigación de operaciones cuál sería la combinación tal que el VaR sea el máximo o el valor más alto, es decir, la combinación entre 4 variables que maximice la función del VaR. Para este propósito y debido a que el número de variables no es alto, solo son 4, se pudo hacer uso del *Solver* de Excel. Obteniéndose los siguientes resultados:

62%	0%	0%	38%
-----	----	----	-----

TABLA 3.2.7.1 VECTOR DE PESO (1X4).

62%
0%
0%
38%

TABLA 3.2.7.1B VECTOR DE PESO (4X1).

Al multiplicar la Matriz Varianza por el Vector Renglón (1X4) de Peso, se obtiene otro vector de 1X4 con los siguientes resultados:

27%	527%	67%	2882%
-----	------	-----	-------

TABLA 3.2.7.1C VECTOR PRODUCTO DE LA MULTIPLICACIÓN DE LA MATRIZ VARIANZA POR EL VECTOR DE PESO 1 X 4.

Multiplicando el vector anterior por el vector Columna de Peso (4X1), se obtiene el escalar de 17% como una varianza, así que sacando la raíz cuadrada de dicho valor se obtiene un **VaR del 41.2%**.

3.2.8. RESUMEN METODOLOGÍA.

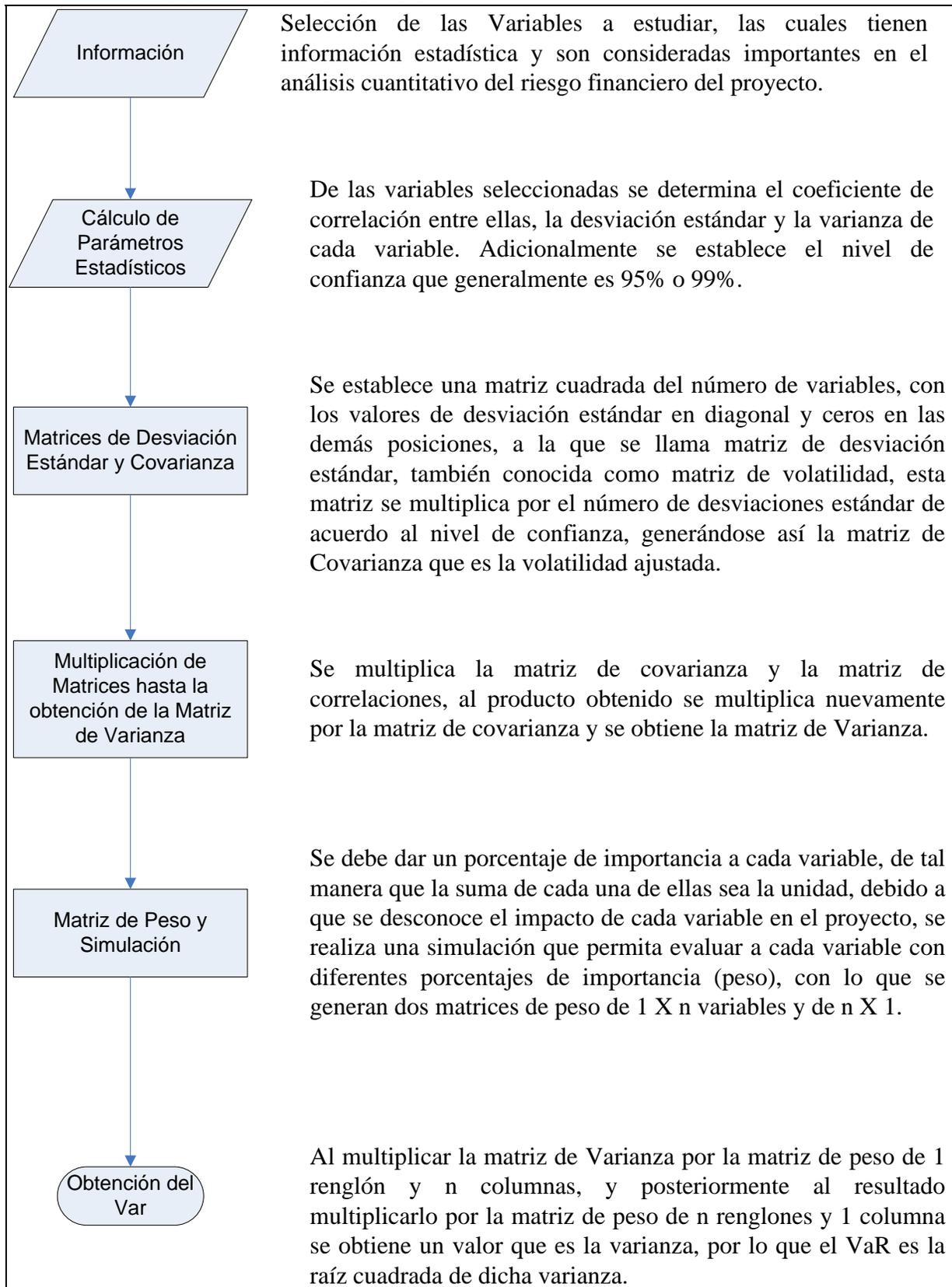


FIGURA 3.1.8 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA OBTENCIÓN DEL VAR.

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Este capítulo muestra de los resultados las observaciones y conclusiones a los números obtenidos, así como recomendaciones, y trabajo futuro a realizar, incluyendo en este último punto las desventajas, debilidades o limitaciones que este método del VaR tiene.

4.1. OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES.

El haber obtenido como resultado 21.2% de VaR, significa que por cada USD 100 dólares Americanos invertidos en este proyecto se tiene un riesgo de perder 34.7 dólares como máximo con un 99% de probabilidad de que no excederá esa cantidad, siempre y cuando las variables que se consideren para el análisis del riesgo económico sean las mencionadas y analizadas en este trabajo y que el peso de importancia o la manera en la que influye cada variable, de acuerdo a los resultados de la simulación sean todos iguales, de otra manera en el pero de los casos (maximizando el VaR), el valor máximo esperado es del 41.2%, es decir, por cada USD 100 dólares Americanos invertidos, el valor máximo esperado a perder serían USD 41.2. Es importante recalcar que este valor es el máximo esperado pero no significa que se tendrá, el valor porcentual obtenido no es el porcentaje de probabilidad de que ocurra, sino el porcentaje máximo esperado que se tendría, tampoco el 99% de confianza no significa que con un 99% de probabilidad se tendrá tal pérdida, sino que con el 99% de confianza si llega a tenerse alguna pérdida esta no excederá el valor de VaR calculado, ya sean con vectores de peso simulados o maximizados.

Debido a que no se tiene referencia de que en el pasado el análisis del riesgo económico en estos proyectos se realice mediante la metodología propuesta y el uso del VaR, será decisión del inversionista definir si ese valor es aceptable o no. Este valor del VaR junto con otros parámetros de rentabilidad económica como son la tasa interna de retorno (TIR), el valor presente neto (VPN), tiempo de retorno de la inversión, etc., deben analizarse juntos, de tal manera que el inversionista o industrial tenga toda la información para la toma de decisión, de esta forma conozca que un proyecto puede ser muy rentable pero muy riesgoso, o de bajo riesgo y también de baja utilidad, siempre se estaría buscando que los proyectos sean altos en rentabilidad y bajos en riesgo de pérdida económica.

En cuanto a la simulación se refiere, la variable de las cuatro analizadas de mayor importancia resultó ser la tarifa eléctrica, posiblemente debido a su naturaleza de comportamiento histórico en los precios y en el período de estudio. Además, presenta los números de factor de correlación entre las variables más alto comparado con los otros factores que presentan valores muy bajos.

Para la toma de decisiones de estos proyectos, generalmente solo se consideran los indicadores de rentabilidad, los factores de riesgo solo se mencionan y se define quien correrá con tales riesgos, que puede ser el industrial, el proveedor o delegarlo a un tercero como lo es una aseguradora, pero no se tiene una metodología numérica que cuantifique el riesgo. Por lo que esta propuesta de análisis de riesgo es una aportación importante para la toma de decisiones, no solo para proyectos de cogeneración sino que es extensivo en la parte cuantitativa del análisis de riesgo económico de cualquier otro tipo de proyecto industrial.

Se comprueba que el uso del VaR es una herramienta para la cuantificación del riesgo económico, no exclusivo del sector financiero, sino que se puede llevar al terreno de los proyectos industriales en la adquisición de equipos, siempre y cuando los riesgos definidos como variables a estudiar sean medibles y se tenga información estadística de estos.

4.2. RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.

La metodología aquí presentada tiene la limitación de que solo se pueden involucrar variables que sean estadísticamente cuantificables, principalmente desviación estándar y factores de correlación, en otro tipo de riesgos más difícil de obtener información estadística como lo son riesgos políticos, laborables y demás, no pueden incluirse. Incluso algún tipo de riesgo como eventos de fallas de la red eléctrica (como variación de voltaje, perdidas de fase, apagones, etc.) , que a pesar de tener un histórico de estos eventos como en un inició se pretendió incluir en este trabajo, su comportamiento es tan impredecible que los datos de correlación y desviación estándar daban valores en el VaR fuera de orden y contexto, por lo que, a pesar de tener datos estadísticos no son variables que puedan entrar en el modelo y que efectivamente sean variables que impacten en un riesgo negativo al proyecto. Por lo que, tener un nivel de confianza de cualquier porcentaje solo involucra a las variables contenidas en el modelo, pero se pueden tener otras perdidas económicas mayores por las variables no medibles y no consideradas en el modelo.

Queda pendiente por realizarse ya que no se cubre en este documento, el uso de herramientas de pronóstico como son las mencionadas redes neuronales, o alguna otra como podrían ser los algoritmos genéticos, con la finalidad de proyectar los datos históricos en un período de 5, 10 y 15 años, de esta manera calcular el VaR en esos períodos proyectados, ya que los resultados aquí mostrados, asumen que el comportamiento en el pasado será el mismo en el futuro, por lo que de no hacer algún tipo de proyección se puede caer en el error de que con el paso del tiempo el comportamiento difiera y el VaR sea mayor al ya calculado. Además, la incertidumbre de lo que sucederá durante el período de financiamiento de estos proyectos es alta, no es recomendable tomar decisiones únicamente sobre comportamientos pasados de las variables, sino sobre el

pronóstico del comportamiento de estas en los siguientes años, la razón del porque se sugiere 5, 10 y 15 años es por que estos períodos son típicos de financiamiento en estos tipos de proyectos.

Adicionalmente, se recomienda utilizar esta metodología incluyendo más variables a las que se tenga antecedente numérico de su comportamiento para cubrir más aspectos en cuanto a riesgo se refiere, estos factores, podrían ser, disponibilidad del equipo o tecnología, así como la confiabilidad del mismo, situaciones estacionales, etc.

Agregar más variables, implicará el uso de software para simulación de mayor alcance que solo el uso del Excel, necesitaría algún complemento de mayor envergadura como el @risk ®.

Hacer extensivo esta metodología y uso del VaR como herramienta para el análisis cuantitavo del riesgo en diferentes proyectos industriales.

REFERENCIAS.

- [1] Cogeneration and Self – generation for Energy Agility. Harold P. Langford, Larry Scheuermann. Industrial Management & Data System. 1988. Pag. 44.
- [2] Energy Conservation in the Process Industries. W. F. Kenney. Academic Press Inc. 1984. Pags. 2 – 3.
- [3] Artículo 36, fracción II de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.
- [4] CONAE. Ing. Federico Hungler S., Ponencia de Participación Privada Dentro del Sector Eléctrico. 30 de Junio, 2005.
- [5] PMBOK® Guide, third Edition, 2004, PMI. Pags. 19,22, 25, 237-268.
- [6] National Center for Environmental Decision – Making Research (NCEDR). Cost Benefit Analysis Modules. Module 5: Risk and Uncertainty in Cost – Benefit Analysis. Dave Bjornstand. Page 1.
- [7] Uncertainty and Risk Analysis. Business Dynamics PricewaterhouseCoopers UK Firm. 1999. Page. 1.
- [8] Uncertainty in Value at Risk Estimates Under Parametric and Non Parametric Modeling. Tatiana Miazynskaia and Wolfgang Aussenegg. Feb. 2005. Page 4.
- [9] Empirical Issues in Value at Risk. Dennis Bams and Jacco L. Wielhouwer. December 2000. Page 2.
- [10] Risk Measurement: An Introduction to Value at Risk. Thomas J. Linsmeier and Neil D. Pearson. July 1996. Pages 7 –16.
- [11] Cogeneration and self – generation for energy agility. Harold P. Langford & Larry Scheuermann. Industrial Management & Data System. 1988 pages. 44 – 47.
- [12] Artículo 36, fracción II de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.
- [13] <http://www.cfe.gob.mx/es/>

- [14] CONAE. Ing. Federico Hungler S., Ponencia de Participación Privada Dentro del Sector Eléctrico. 30 de Junio, 2005.
- [15] Secretaría de Energía, “Perspectivas del Sector Energía en México”, M. C. José Antonio Medina Rosas Director de Energía y Medio Ambiente, CECAL, México D.F., 18 de Febrero 2004.
- [16] Modeling technology adoption as an irreversible investment under uncertainty: the case of the Turkish electricity supply industry. Reinhard Madlener, Gürkan Kumbaroglu, Volkan S. Ediger. *Energy Economics*. 2005. Pages 139 – 163.
- [17] PMBOK® Guide, third Edition, 2004, PMI. Pages. 237-268.
- [18] Risk Management on Research and Development Projects, Steven W. Wageman, AACE International Transaction. 2004.
- [19] Action research to explore perceptions of risk in project management. David Parker and Alison Mobey, *International Journal of Productivity and Performance Management*. Vol. 53, No. 1, 2004. Pages 18 –32.
- [20] Financial Model Using Simulation and Optimization. Wayne Winston, 2nd Edition, Palisade, Pages 351 – 369.
- [21] PhD Thesis, Financial Risk Management and Portfolio Using Artificial Neural Networks and Extreme Value Theory. Mabouba Diagne, University of Kaiserslautern, Germany.
- [22] An Extreme Value Approach to Estimating Volatility and Value at Risk. Turan G. Bali, *The Journal of Business*, Jan. 2003. pages 83 – 106.
- [23] Volatility in the California Power Market: source, methodology and recommendations. R.W. Dahlgren, C.-C. Liu and J. Lawarree, *IEEE Proc.-Gene. Transn. Disrib.* Vol. 145. 2. March 2001. Pages: 189 – 193.
- [24] Estimating oil price ‘Value at Risk’ using the historical simulation approach. J. David Cabedo, Ismael Moya, *Energy Economics*. 2002. Pages: 239 – 253.
- [25] Price Risk in the NYMEX Energy Complex: An Extreme Value Approach, Tim Krehbiel and Lee C. Adkins. 2003. Working Paper, Oklahoma State University.
- [26] Managing Market Risk in Energy, Michel Denton, Adrian Palmer, Ralph Masiello and Petter Skantze. *IEEE Transaction on Power Systems*. Vol.18, No.2, May 2003. Pages 494 – 502.
- [27] Risk Assessment Energy Trading, Robert Dahlgren, Chen-Ching Liu and Jacques Lawarree. *IEEE Transaction on Power Systems*. Vol.18, No.2, May 2003. Pages 503 – 511.

- [28] Price and Volume Risk Management for Power Producers, D. Pravan, G.B. Sheblé and R. Gojob, 8th International Conference of Probabilistic Methods Applied to Power Systems, Iowa State University, Sep. 12 – 16, 2004.
- [29] A Medium Term – Integrated Risk Management Model for a Hydrothermal Generation Company, Jordi Cabero, Álvaro Baílo, Santiago Cerisola, Mariano Ventosa, Antonio García – Alcalde, Fernando Perán y Gregorio Relaño. IEEE Transaction on Power Systems. Vol.20, No.3, Aug. 2005. Pages 1379 – 1388.
- [30] Predicting the time-varying Covariance Matrix of Electricity Forwards; Kjersti Aas and Kjetil F. Karesen; November 15 2003;
- [31] Measuring Oil Price Volatility as a Means to Managing Commodity Risk; M.Sc. SAŠA ŽIKOVIC & TANJA FATUR; 2006; Gloria Mundi VaR.
- [32] Reliability of neural networks based Value – at – Risk estimates, Ralph Prinzler, August 1999.
- [33] Cost Functions and Model Combination for VaR – Based Asset Allocation Using Neural Networks, Nicolas Chapado and Yoshua Bengio, IEEE Transaction On Neural Networks, Vol. 12, No. 4, July 2001.
- [34] Energy Clearing Price Prediction and Confidence Interval Estimation With Cascade Neural Networks, Li Zhang, Peter B. Luh y Krishnan Kasiviswanathan, IEEE Transaction on Power Systems. Vol.18, No.1, Feb. 2003. Pages 99 – 105.
- [35] Value – at –Risk Model Combination. Yan Liu. Emory University, April 2005.
- [36] Estadística para Administración y Economía; David R. Anderson, Dennis J. Sweeney, Thomas A. Williams; Octava Edición; Editorial Thomson.
- [37] Algebra Lineal, Stanley I. Grosman, 5a. Edición, McGraw-Hill.
- [38] Mastering Value at Risk (a step – by – step guide to understanding and applying VaR), Cormac Butler, Financial Times Prentice Hall, 1999.
- [39] Forecasting of the electric energy demand trend and monthly fluctuation with neural networks; Eva Gonzalez – Romero, Miguel Angel Jaramillo – Moran, Diego Carmona – Fernández; Computer and Industrial Engineering; Jan, 2007; vol. 52 Pag. 336 – 343.

Anexos.

ANEXO 1. RESPUESTA DE EXPERTOS EN LA MATERIA SOBRE LAS VARIABLES ESTUDIADAS EN EL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.

Hola Francisco,

Me parecen muy bien las variables que mencionas. La más crítica es siempre precio del combustible, pues ocupa un alto porcentaje en la integración de costos del producto final de una cogeneración (energía eléctrica y térmica).

Ya no está Sandra Toublanc y eso ha hecho que no le ponga atención a proyectos nuevos. Estamos instalando una nueva cogeneración en México (Talismán P&G) y acabamos de arrancar una en Monclova. Terminamos la fase de diseño de otra cogeneración para P&G en Apizaco, Tlaxcala. Ellos seguirán con la instalación, después veremos si le entramos a la operación y mantenimiento. Seguiremos como asesores. En fin, hay movimiento.

SEISA siempre muestra una tabla de riesgos de un proyecto y pone una manera de mitigarlo de manera cualitativa. Falta hacer algo cuantitativo, por eso me parece muy interesante tu trabajo. Te anexo esa tabla.

Saludos y buena suerte,

Ramón Vega

Catedrático del ITESM Campus Monterrey y Tecnólogo de la empresa SEISA dedicada a proyectos de Cogeneración.

Distribución de Riesgos.

<u>Fuente</u>	<u>Riesgo Específico</u>	<u>Quién absorbe el riesgo</u>
Construcción	Sobrecosto Retrasos Tecnología	El riesgo es transferido al 100% a SEISA
Operación	Desempeño Capacidad	Ambos riesgos son absorbidos por SEISA
Respaldo de CFE	Menor disponibilidad que la esperada Despacho de CFE	SEISA absorbe el riesgo de baja disponibilidad CFE despacha prioritariamente el respaldo
Fuerza Mayor	Desastres naturales	Aseguradoras de SEISA
Mantenimiento	Partes de repuesto Disponibilidad de Turbina de Gas	Absorbido por el fabricante del equipo SEISA y el fabricante del equipo
Combustible	Volatilidad de precios Disponibilidad de Gas	Ambos son asumidos por CLIENTE, aunque éstos pueden ser eliminados con coberturas
Mercado	Caída en las tarifas de CFE Precios de excedentes	CLIENTE absorbe éste riesgo
Financieros	Tasas de interés Condiciones Macroeconómicas	SEISA

Hola Paco,

Saludos, por aquí las cosas bien, nos estamos cambiando de localidad, el 14 de marzo estamos en nueva oficina, por separado te envió nuevos datos de contacto.

Desde mi punto de vista las variables abajo consideradas son cuantificables y entran dentro de un modelo de simulación. Pero también hay variables no ponderables que no es muy fácil evaluar. Si me permites y a reserva de que sean convenientes para ti y desde mi personal punto de vista algunas otras razones son:

Ponderables:

Inversión inicial.

Tiempos de entrega y financiamiento.

Nivel de rentabilidad.

Perfil de consumo de energías eléctrica y térmica.

Costos de O&M.

Imponderables:

Cliente prefiere enfocarse a su negocio principal, los ahorros y beneficios no son relevantes mientras el negocio principal vaya bien. El cliente solo quiere comparar su situación actual contra una posible alternativa.

Otras prioridades de inversión o expansión.

Falta de familiaridad con proyectos de autoabastecimiento.

Riesgos políticos y económicos.

Situación financiera del cliente.

Bajo nivel crediticio.

Opiniones externas que incrementan inseguridad del cliente.

Paco, solo es mi punto de vista como proveedor. Tu estás del lado del inversionista, en este sentido toma en cuenta tus experiencias de los casos de KIMEX y AJEMEX. Espero que estos comentarios sean útiles.

Saludos,

Juan Carlos Quintero.

Gerente de Aplicaciones Técnicas, Power Plants. Wärtsilä de México S. A, de C. V.

Respecto a tu Tesis. Con mucho gusto te estaremos echando la mano y por lo que respecta a tus preguntas te comento lo siguiente:

Las principales razones económicas por las que los clientes no realizan estos proyectos son:

1.- La generación o cogeneración de energía eléctrica no es el negocio principal de ellos, por lo que poner un proyecto, les implicaría distraer recursos humanos y/o económicos para algo que no saben.

2.- Los precios tan variables de los combustibles. Es la segunda razón, ya que aunque se puede demostrar que con las coberturas ellos quedan protegidos en precio, aún así sienten inseguridad.

3.- La incertidumbre de permanencia de su empresa en el mercado. He tenido clientes, particularmente en provincia que aunque tengan empresas buenas y estables, se sienten inseguros del futuro de México y por lo tanto del futuro de su empresa. Han preferido seguir trabajando con altos costos

aunque pierdan competitividad. Nota: Las tan mencionadas reformas serían un elemento que los hiciera sentirse mejor.

Respecto a los precios de la electricidad, te comento que no es problema, ya que ésta ha estado subiendo mucho y es lo que mas perjudica a muchos.

Sobre las tasas de interés te comento que aún no conozco a nadie que haya cancelado un proyecto por este concepto. Seguramente será porque IGSA les acerca financieros y/o créditos con tasas especiales.

Espero que ésta información te sea de utilidad.

Saludos

Enrique Vargas
Director Comercial.
Maquinaria IGSA

**ANEXO 2. DATOS DE LAS VARIABLES A ESTUDIAR CAPTURADAS
MES A MES DE ENERO DEL 2000 A DICIEMBRE DEL 2005**

Mes	Tarifa Eléctrica	Tasa de Interés	Tipo de Cambio	Precio GN
	(MN/kWh)	%	(MN/USD)	(USD/MMBTU)
Ene-00	\$0.48	5.856	9.49	\$2.44
Feb-00	\$0.47	5.907	9.42	\$2.62
Mar-00	\$0.48	6.133	9.29	\$2.87
Abr-00	\$0.49	6.197	9.39	\$3.02
May-00	\$0.50	6.641	9.52	\$3.68
Jun-00	\$0.51	6.649	9.84	\$4.65
Jul-00	\$0.53	6.625	9.42	\$4.62
Ago-00	\$0.54	6.628	9.27	\$5.22
Sep-00	\$0.53	6.62	9.36	\$5.98
Oct-00	\$0.53	6.621	9.53	\$5.56
Nov-00	\$0.53	6.827	9.50	\$9.87
Dic-00	\$0.53	6.565	9.47	\$24.45
Ene-01	\$0.55	5.622	9.77	\$12.62
Feb-01	\$0.58	5.278	9.71	\$17.59
Mar-01	\$0.54	5.078	9.60	\$13.26
Abr-01	\$0.52	4.435	9.33	\$13.37
May-01	\$0.53	4.059	9.14	\$11.49
Jun-01	\$0.53	3.835	9.08	\$6.02
Jul-01	\$0.51	3.76	9.16	\$4.21
Ago-01	\$0.49	3.584	9.13	\$3.16
Sep-01	\$0.49	2.637	9.42	\$2.04
Oct-01	\$0.49	2.321	9.13	\$2.37
Nov-01	\$0.49	2.145	9.22	\$2.30
Dic-01	\$0.51	1.876	9.16	\$2.56
Ene-02	\$0.51	1.829	9.16	\$2.16
Feb-02	\$0.51	1.883	9.10	\$2.23
Mar-02	\$0.50	1.88	9.07	\$2.99
Abr-02	\$0.50	1.842	9.17	\$3.20
May-02	\$0.53	1.844	9.52	\$3.05
Jun-02	\$0.54	1.836	9.77	\$3.10

Mes	Tarifa Eléctrica	Tasa de Interés	Tipo de Cambio	Precio GN
	(MN/kWh)	%	(MN/USD)	(USD/MMBTU)
Jul-02	\$0.56	1.818	9.79	\$2.99
Ago-02	\$0.58	1.82	9.84	\$2.81
Sep-02	\$0.58	1.819	10.08	\$3.27
Oct-02	\$0.59	1.741	10.09	\$3.75
Nov-02	\$0.61	1.38	10.20	\$3.85
Dic-02	\$0.62	1.382	10.23	\$4.43
Ene-03	\$0.63	1.339	10.63	\$4.76
Feb-03	\$0.63	1.334	10.94	\$6.23
Mar-03	\$0.64	1.306	10.92	\$5.83
Abr-03	\$0.68	1.318	10.59	\$4.94
May-03	\$0.70	1.3189	10.26	\$5.38
Jun-03	\$0.70	1.1232	10.51	\$5.38
Jul-03	\$0.68	1.1036	10.46	\$4.93
Ago-03	\$0.66	1.117	10.79	\$4.88
Sep-03	\$0.66	1.1214	10.93	\$4.52
Oct-03	\$0.68	1.1201	11.17	\$4.51
Nov-03	\$0.69	1.1157	11.15	\$4.40
Dic-03	\$0.69	1.1195	11.25	\$5.58
Ene-04	\$0.69	1.0982	10.92	\$5.66
Feb-04	\$0.70	1.0973	11.02	\$4.98
Mar-04	\$0.71	1.0914	11.01	\$4.99
Abr-04	\$0.73	1.1007	11.28	\$5.41
May-04	\$0.76	1.1089	11.51	\$5.95
Jun-04	\$0.79	1.3582	11.40	\$5.78
Jul-04	\$0.81	1.4929	11.46	\$5.74
Ago-04	\$0.82	1.6482	11.39	\$5.29
Sep-04	\$0.84	1.8401	11.49	\$4.74
Oct-04	\$0.83	1.987	11.40	\$5.63
Nov-04	\$0.82	2.2826	11.37	\$6.16
Dic-04	\$0.84	2.4178	11.20	\$6.31
Ene-05	\$0.87	2.5892	11.26	\$5.73
Feb-05	\$0.84	2.6895	11.14	\$5.73
Mar-05	\$0.83	2.8582	11.14	\$6.50
Abr-05	\$0.81	3.0826	11.12	\$6.66
May-05	\$0.82	3.1126	10.97	\$5.86
Jun-05	\$0.84	3.3401	10.82	\$6.16
Jul-05	\$0.85	3.5107	10.68	\$6.75
Ago-05	\$0.87	3.6942	10.69	\$8.12
Sep-05	\$0.87	3.8584	10.78	\$9.73
Oct-05	\$0.88	4.0882	10.84	\$10.97

Mes	Tarifa Eléctrica	Tasa de Interés	Tipo de Cambio	Precio GN
	(MN/kWh)	%	(MN/USD)	(USD/MMBTU)
Nov-05	\$0.91	4.2954	10.67	\$7.91
Dic-05	\$0.95	4.3857	10.63	\$11.43

TABLAS DE DATOS DE LAS VARIABLES DEL AÑO 2000 AL 2005.

ANEXO 3. RESULTADO DE LAS SIMULACIONES DE PESO HECHAS EN EXCEL.

Número Simulaciones	Tarifa Eléctrica (MN/kWh)	Tasa de Interés %	Tipo de Cambio (MN/USD)	Precio GN (USD/MMBTU)	Total
1	32%	50%	12%	50%	145%
2	49%	35%	26%	32%	143%
3	46%	23%	19%	11%	98%
4	2%	41%	49%	44%	136%
5	50%	41%	20%	42%	153%
6	1%	41%	31%	18%	92%
7	22%	18%	38%	18%	95%
8	7%	9%	49%	31%	96%
9	5%	5%	47%	46%	103%
10	18%	18%	35%	15%	84%
11	27%	48%	25%	9%	109%
12	31%	13%	18%	36%	97%
13	25%	14%	22%	45%	106%
14	6%	3%	42%	12%	64%
15	47%	16%	29%	47%	140%
16	39%	29%	45%	50%	163%
17	35%	8%	38%	27%	108%
18	9%	5%	21%	2%	38%
19	15%	20%	24%	1%	60%
20	26%	48%	27%	4%	105%
21	10%	44%	20%	40%	114%
22	28%	24%	26%	18%	97%
23	14%	6%	41%	23%	83%
24	11%	12%	20%	40%	82%
25	23%	34%	27%	15%	99%
26	9%	31%	31%	35%	106%
27	47%	19%	46%	11%	122%
28	27%	31%	44%	46%	149%
29	18%	35%	20%	6%	80%
30	19%	11%	48%	39%	117%
850	29%	19%	22%	24%	93%

Número Simulaciones	Tarifa Eléctrica (MN/kWh)	Tasa de Interés %	Tipo de Cambio (MN/USD)	Precio GN (USD/MMBTU)	Total
851	30%	12%	6%	37%	85%
852	34%	24%	22%	48%	128%
853	15%	25%	43%	25%	108%
854	7%	16%	37%	26%	85%
855	48%	40%	37%	42%	166%
856	22%	18%	24%	34%	97%
857	46%	33%	22%	31%	133%
858	33%	4%	2%	22%	60%
859	39%	6%	32%	20%	98%
860	47%	36%	1%	33%	116%
861	7%	19%	11%	3%	40%
862	23%	13%	5%	9%	50%
863	16%	41%	16%	50%	123%
864	9%	21%	19%	12%	61%
865	9%	41%	39%	11%	100%
866	6%	31%	34%	31%	101%
867	37%	12%	9%	28%	86%
868	35%	7%	46%	5%	92%
869	13%	24%	50%	30%	117%
870	18%	37%	8%	17%	79%
970	31%	8%	15%	30%	85%
971	19%	45%	9%	35%	109%
972	15%	28%	16%	5%	64%
973	36%	48%	25%	39%	147%
974	31%	17%	42%	44%	135%
975	45%	23%	17%	48%	134%
976	7%	27%	34%	24%	92%
977	12%	44%	33%	46%	136%
978	48%	34%	24%	7%	113%
979	1%	13%	22%	8%	44%
980	20%	43%	26%	47%	137%
981	36%	23%	17%	1%	77%
982	29%	40%	10%	40%	118%
983	15%	30%	31%	39%	116%
984	22%	20%	23%	13%	77%
985	1%	19%	11%	44%	76%
986	15%	44%	10%	6%	75%
987	18%	41%	3%	10%	73%
988	3%	31%	38%	15%	87%
989	31%	19%	33%	32%	115%

Número Simulaciones	Tarifa Eléctrica (MN/kWh)	Tasa de Interés %	Tipo de Cambio (MN/USD)	Precio GN (USD/MMBTU)	Total
990	40%	17%	3%	39%	99%
991	16%	2%	24%	12%	55%
992	13%	5%	26%	41%	85%
993	46%	36%	33%	45%	160%
994	45%	43%	35%	42%	166%
995	32%	9%	49%	20%	110%
996	39%	15%	17%	19%	89%
997	15%	24%	8%	22%	68%
998	22%	47%	1%	23%	93%
999	24%	31%	45%	7%	106%
1000	15%	5%	25%	48%	93%
Promedio	25%	26%	26%	25%	101%

Para el caso de los resultados de la maximización de la función del VaR, como se mencionó anteriormente, se utilizó el *Solver* de Excel, cuyos resultados y valores se muestran en este documento.