



Modelo de optimización con programación no lineal y simulación Monte Carlo de un proyecto industrial pesquero

Optimization model with nonlinear programming and Monte Carlo simulation of an industrial fishing project

Christian Ramos Angeles*^{ID} and Pedro Espinoza Haro.†^{ID}

Received, Jul. 20, 2019

Accepted, Set. 06, 2019



How to cite this article:

Ramos C., Espinoza P. *Modelo de optimización con programación no lineal y simulación Monte Carlo de un proyecto industrial pesquero*. *Selecciones Matemáticas*. 2019; 6(2):248-263. <http://dx.doi.org/10.17268/sel.mat.2019.02.11>

Resumen

El presente trabajo de investigación consiste en el desarrollo de un método en donde se plantea un modelo matemático de un proyecto de instalación de una planta de conservas de pescado, considerando la inversión, los costos de producción, los gastos operativos, los estados financieros, y como indicadores para la toma de decisiones el valor actual neto financiero y la tasa interna de retorno financiero. Posteriormente se optimiza el modelo matemático utilizando programación no lineal para elegir la alternativa de inversión más conveniente, luego se realiza una simulación Monte Carlo en donde se consideran variables aleatorias de planta y de mercado que permita al inversionista estimar los valores mínimos y máximos que podrá ocurrir en los indicadores financieros y por último la discusión de resultados.

Palabras claves. Optimización, programación no lineal, simulación Monte Carlo, proyecto industrial.

Abstract

The present research work consists in the development of a method where a mathematical model of a fish canning plant installation project is proposed, considering the investment, the production costs, the operating expenses, the financial statements, and as indicators for decision making, the net financial present value and internal rate of financial return. Then, the mathematical model is optimized using a non-linear programming to choose the most convenient investment alternative, then a Monte Carlo simulation is carried out in which random variables of plant and market are considered that allow the investor to estimate the minimum values and maximum that can happen in the financial indicators and finally the discussion of results.

Keywords. Optimization, nonlinear programming, Monte Carlo simulation, industrial project.

1. Introducción. El inversionista es un tomador de decisiones que siempre busca escoger la mejor alternativa de inversión que maximice las ganancias, considerando que siempre está bajo un entorno cambiante, lo cual hace que sus expectativas planeadas no siempre son las que tendrán. Si la toma de decisiones es sobre un proyecto industrial pesquero, se tendrá que tener en cuenta que existen muchas variables de decisión como variables aleatorias que se deben de considerar para poder evaluar dicho

*Facultad de Pesquería, Universidad Nacional Agraria La Molina, Av. La Universidad S/N, Lima-Perú. (cramos@lamolina.edu.pe).

†Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Túpac Amaru 210, Lima-Perú. (pcesp67@gmail.com).

proyecto.

La propuesta del presente trabajo de investigación es de maximizar el valor actual neto financiero de un proyecto industrial pesquero y realizar simulaciones con el método Monte Carlo.

Existen muchos antecedentes sobre modelos de optimización y simulación aplicados en los proyectos, aplicando programación matemática en la decisión óptima de proyectos en un mercado de capital imperfecto [16] o un modelo matemático dimensional para la planeación de proyectos industriales [17]. En la selección de proyectos de investigación y desarrollo (I+D) se utilizó un modelo de programación meta entero no lineal [19]. En China desarrollaron un sistema con el uso de modelos y algoritmos de la investigación de operaciones para la evaluación de proyectos del Centro de Información Estatal (SIC) para que administre las inversiones en el Sistema de Información Económica del Estado de China (SEIS) [20]. La programación multiobjetivos difuso también se utilizó en la toma de decisiones en la selección de proyectos I+D [3]. El método de programación de red también fue utilizado en el problema de la cartera óptima de proyectos de inversión [21]. En proyectos de construcción, se desarrollaron modelos de programación lineal para la aplicación en la toma de decisiones en la optimización de la estrategia de licitación para seleccionar la mejor oferta resolviendo problemas de costo y tiempo mediante el uso del software LINDO [1].

En la administración de proyectos se minimizó el costo mediante el uso de modelos de programación no lineal (PNL) [7] y también reduciendo el tiempo de finalización del proyecto con costos no lineales y aproximándolo a un modelo de programación lineal de enteros mixtos (PLEM) [12].

En los portafolios de inversiones se propuso un modelo de programación meta lineal estocástico para la gestión de la cartera de inversiones, considerando como objetivos a la inversión, el control del riesgo, la generación de escenarios [6] y el uso del valor presente neto (VPN) como método cuantitativo tradicional y otro cualitativo como el análisis multicriterio también conocido como el de criterios de inversión de capital no tradicional, integrándolas con técnicas de optimización [5]. También utilizaron modelos de programación lineal multiobjetivo difusa para la optimización de la cartera de inversiones [15].

La aplicación de la simulación en los proyectos de inversión se debe a que en la formulación del proyecto se asumen valores estimados que normalmente cambian durante el ciclo de vida del proyecto [2] e implican riesgo [9] y hay que suponer correctamente las distribuciones de probabilidad de las variables para evitar problemas en los resultados de la simulación [13]. En proyectos ambientales se puede utilizar el método de simulación Monte Carlo definiendo las distribuciones de probabilidad en las variables aleatorias [14] y en otros proyectos de inversión a largo plazo con el desarrollo de modelos determinista, análisis de sensibilidad y probabilístico para el flujo de caja descontado [8]. También se buscaron soluciones óptimas a un proyecto de inversión no rentable cuyos costos de liquidación evolucionan estocásticamente [4], a una cartera de proyectos bajo incertidumbre y restricciones presupuestarias [10] y en otro caso la combinación de evaluación de proyectos con el uso del valor actual neto, análisis de sensibilidad y simulación Monte Carlo [11].

2. Métodos. En el presente trabajo de investigación se utilizó el siguiente método.

2.1. Caso de estudio. Se desea instalar una planta elaboradora de conservas de anchoveta peruana (*Engraulis ringens*), presentada en corte tipo tubo, sin cabeza ni vísceras, en envases de hojalata tinapa en salsa de tomate como líquido de gobierno. El peso neto del producto es de 180 g, de los cuales 120 g son de anchoveta (9 piezas) y 60 g de líquido de gobierno.

En el Cuadro 2.1 se muestra la composición nutricional del contenido de una lata de conserva de anchoveta en salsa de tomate.

CUADRO 2.1
Información nutricional del contenido de una lata de conservas de anchoveta en salsa de tomate

Característica	Valor nutricional
Humedad:	66.71 %
Proteínas:	17.77 %
Grasas:	10.71 %
Carbohidratos:	1.61 %
Cenizas:	3.20 %
Valor calórico:	166.56 kcal/100 g

Para el sinceramiento de la producción se considera los siguientes periodos de trabajo que se muestra en el Cuadro 2.2.

En el Cuadro 2.3 se detalla las capacidades de producción real en cajas por año y las capacidades de procesamiento de kilogramos de anchoveta por día para cada planta.

CUADRO 2.2
Periodos de trabajo en las plantas de conservas

Periodo	Cantidad
Horas por día	8 horas
Días por mes	22 días
Meses por año	10 meses

CUADRO 2.3
Capacidades de producción de las alternativas de plantas de conservas

Alternativa	Tamaño de planta (cajas/año)	Capacidad de producción real (cajas/año)	Capacidad de procesamiento (kg de anchoveta/día)
Planta 1	50,000	49,000	1,436
Planta 2	100,000	99,000	2,873
Planta 3	250,000	247,000	7,182

Para determinar las características de las principales máquinas que se observa en el Cuadro 2.4 se hicieron los cálculos de ingeniería para determinar el requerimiento de vapor de agua para el cocinador continuo, las marmitas, las autoclaves y la capacidad del caldero.

CUADRO 2.4
Características de las principales máquinas

Alternativa	Cocinador continuo (dimensiones)	Cerradora de latas	Lavadora de latas	Número de autoclaves	Caldero
Planta 1	5x1 m	70 lpm Canco 06	70 lpm	1	376 BHP
Planta 2	7x1 m	120 lpm Angelus 29p	120 lpm	2	424 BHP
Planta 3	10x1.5 m	275 lpm Angelus 40p	275 lpm	4	616 BHP

Los tiempos en horas para cada planta se determinaron en base a la eficiencia de los envasadores, a los números de máquinas y capacidades, y se muestra en el Cuadro 2.5.

Considerando que hay un rendimiento del 99 % en la operación de lavado y de 82 % en la operación de drenado, el rendimiento final de materia prima a producto final es de 81.18 %. En el programa de producción anual se consideró el supuesto de que iba a haber un crecimiento anual de producción del 3 %, y se muestra en el Cuadro 2.6. Como se puede observar el programa de producción es para cinco años que coincide con el periodo de evaluación del proyecto.

Inversión y financiamiento La inversión varía dependiendo del tamaño de planta tal como se observa en el Cuadro 2.7.

En un escenario normal y considerando que se dispone de S/ 1,000,000 de capital social y que los porcentajes del préstamo de la inversión fija y capital de trabajo son de 50 % y 60 % respectivamente, se instalará la planta 2.

2.2. Modelo matemático del proyecto . Para la construcción del modelo matemático del proyecto, se utilizó como referencia un diagrama de influencia del proyecto considerando las variables a utilizar en ella, tal como se muestra en las Figuras 2.1 y 2.2.

2.2.1. Ventas (V) . El modelo de las ventas se observa en (2.1), donde P es el precio en soles por caja en los cinco años de venta del producto, X_j es la variable binaria que puede tener un valor de 1 si se construye la planta j y 0 de otra manera, donde $j = 1, \dots, 3$, y Q_{tj} es la cantidad de cajas a producir en el año t en la planta j , donde $t = 1, \dots, 5$; $j = 1, \dots, 3$.

$$(2.1) \quad V = P X_t Q_{tj}$$

La capacidad de la planta se muestra en (2.2), donde Q_j es la capacidad de planta j en número de cajas de conservas, donde $j = 1, \dots, 3$, TCp es la tasa de crecimiento de producción (en nuestro caso igual a 3 %) y t es el año, donde $t = 1, \dots, 5$.

$$(2.2) \quad Q_{tj} = \frac{Q_j}{(1 + TCp)^{5-t}}$$

CUADRO 2.5
Tiempo en horas de las principales operaciones unitarias

Alternativa	Envasado (h)	Cocinado (h)	Preparación de salsa (h)	Cerrado de latas (h)	Esterilizado (h)
Planta 1	1.82	2.21	1.23	2.21	4.50
Planta 2	2.73	3.16	2.47	3.15	4.50
Planta 3	3.25	3.69	6.17	3.69	4.88

CUADRO 2.6
Programa de producción para las plantas de conservas (en cajas por año)

Alternativa	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Planta 1	44,424	45,745	47,130	48,544	50,000
Planta 2	88,849	91,514	94,260	97,087	100,000
Planta 3	222,122	228,785	235,649	242,718	250,000

2.2.2. Costos de producción (CP). En los costos de producción se considera los costos de materiales directos, el costo de la mano de obra directa y los costos indirectos de fabricación tal como se observa en (2.3), donde CMD es el costo de materiales directos (en soles), $CMOD$ es el costo mano de obra directa (en soles), CIF es el costo indirecto de fabricación (en soles), y DP es la depreciación del área de producción (en soles).

$$(2.3) \quad CP = CMD + CMOD + CIF + DP$$

Costo de materiales directos (CMD) Los costos de los materiales directos incluyen el costo de la materia prima, la pasta de tomate, la sal, el agua para la mezcla, los envases, las cajas de cartón y el costo de las etiquetas tal como se puede ver en (2.4), donde Cmp es el costo de materia prima (en soles), Cpt es el costo de la pasta de tomate (en soles), Cs es el costo de la sal (en soles), Ca es el costo del agua (en soles), Ce es el costo de los envases (en soles), Ccc es el costo de cajas de cartón (en soles) y Cet es el costo de las etiquetas (en soles).

$$(2.4) \quad CMD = Cmp + Cpt + Cs + Ca + Ce + Ccc + Cet$$

El costo de la materia prima (Cmp) se define en (2.5), donde $CUmp$ es el costo unitario de la materia prima en soles por tonelada (en el proyecto es de S/ 1,675 por tonelada) y Kmp es la constante de conversión en cajas de conserva por tonelada de materia prima (en el proyecto es de 137 cajas/tonelada).

$$(2.5) \quad Cmp = \frac{CUmp}{Kmp} X_j Q_{tj}$$

El costo de la pasta de tomate (Cpt) se define en (2.6), donde $CUpt$ es el costo unitario de la pasta de tomate (en soles por kilogramo) igual a S/ 0.50 por kg y Kpt es la cantidad de pasta de tomate en kilogramos por caja, en el proyecto es de 1.3 kg por caja.

$$(2.6) \quad Cpt = CUpt Kpt X_j Q_{tj}$$

El costo de la sal (Cs) se define en (2.7), donde CUs es el costo unitario del saco de sal (S/ 0.52 por kg) y Ks es la cantidad de sal en kilogramos para una caja de conservas, en el proyecto es de 0.054 kg por caja.

$$(2.7) \quad Cs = \frac{CUs Ks}{25} X_j Q_{tj}$$

El costo del agua (Ca) se define en (2.8), donde CUa es el costo unitario del agua en soles por metro cúbico igual a S/ 3.9590 por m³ y Ka es la cantidad de agua en litros en una caja de conservas (1.616 litros por caja).

$$(2.8) \quad Ca = CUa Ka X_j Q_{tj}$$

El costo de los envases (Ce) se define en (2.9), donde Cue es el costo unitario de los envases en soles por caja (S/ 20 por caja).

$$(2.9) \quad Ce = Cue X_j Q_{tj}$$

CUADRO 2.7
Inversión en las plantas de conserva en soles (S/)

Inversión	Planta 1	Planta 2	Planta 3
Terreno	150,000	200,000	300,000
Edificio	350,000	480,000	600,000
Instalaciones	40,000	50,000	60,000
Maquinarias y equipos	300,000	340,000	400,000
Equipos de oficina	10,000	15,000	20,000
Muebles	10,000	16,000	20,000
Intangibles	90,000	90,000	90,000
Inversión total	1,150,000	1,591,000	2,190,000

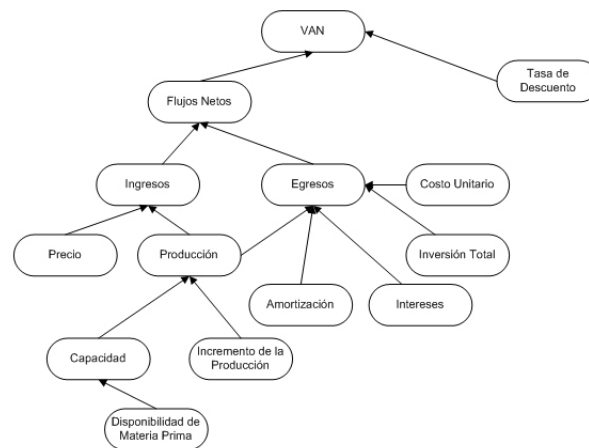


FIGURA 2.1. Diagrama de influencia para el cálculo del VAN

El costo de las cajas de cartón (C_{cc}) se define en (2.10), donde CU_{cc} es el costo unitario de las cajas de cartón en soles por caja (S/ 0.50 por caja).

$$(2.10) \quad C_{cc} = CU_{cc} X_j Q_{tj}$$

El costo de las etiquetas (C_{et}) se define en (2.11), donde CU_{et} es el costo unitario de etiquetas en soles por caja (S/ 0.50 por caja).

$$(2.11) \quad C_{et} = CU_{et} X_j Q_{tj}$$

Costo de mano de obra directa (CMOD) La mano de obra directa está compuesta por el personal para el proceso, los envasadores, y la alimentación del personal, su costo está definido por (2.12), donde C_{pp} es el costo del personal para proceso, C_{ep} es el costo de envasadores y C_{ap} es el costo alimentación de personal.

$$(2.12) \quad CMOD = C_{pp} + C_{ep} + C_{ap}$$

El costo del personal para proceso (C_{pp}) está definido en (2.13), donde N_{ppj} es el número de personal de proceso (depende de la planta, donde $j = 1, \dots, 3$), y CU_{pp} es el costo unitario personal para proceso (sueldo de S/ 750 por mes).

$$(2.13) \quad C_{pp} = N_{ppj} (15CU_{pp} (1 + 0,0975) + CU_{pp}) X_j$$

Para el costo del personal de proceso se consideró 15 meses de sueldo (12 sueldos al año, 2 gratificaciones y 1 de vacaciones), así como ESSALUD del 9% y como es una actividad industrial se paga SENATI equivalente a 0.75% de los 15 sueldos.

El costo de los envasadores (C_{ep}) se muestra en (2.14), donde CU_{ep} es el costo unitario de los envasadores al destajo, S/ 1.00 por caja.

$$(2.14) \quad C_{ep} = CU_{ep} X_j Q_{tj}$$

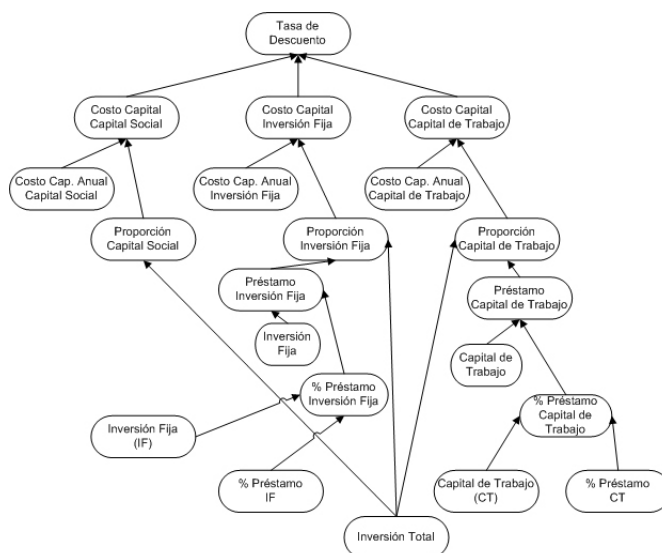


FIGURA 2.2. Diagrama de influencia para el cálculo de la tasa de descuento

El costo de la alimentación del personal (*Cap*) se muestra en (2.15), donde *Tdm* es el número de días por mes (21 días por mes), *Tma* es el número de meses por año (10 mes por año), *CUap* es el costo unitario de alimentación del personal por día (S/ 5.00 por persona) y *Nep_j* es el número de envasadores que depende de la planta., donde *j* = 1,...,3.

$$(2.15) \quad Cap = Tdm Tma CUap (Npp_j + Nep_j) X_j$$

Costos indirectos de fabricación (CIF) Los costos indirectos de fabricación se componen de los costos de mano de obra indirecta, suministro de agua, suministro de petróleo y suministro de energía eléctrica, tal como se observa en (2.16), donde *CMOI* es el costo de la mano de obra indirecta, *CSa* es el costo del suministro de agua, *CSp* es el costo del suministro de petróleo y *CSee* es el costo del suministro energía eléctrica.

$$(2.16) \quad CIF = CMOI + CSa + CSp + CSee$$

El costo de mano de obra indirecta (*CMOI*) se define en (2.17), donde *N_j* es el número de jefes (*N_j* = 1 para un jefe de planta) y *CU_j* es el costo unitario del jefe de planta en soles (S/ 3,000).

$$(2.17) \quad CMOI = N_j (15CU_j (1 + 0,0975) + CU_j)$$

El costo de suministro de agua (*CSa*) se define en (2.18), donde *KSa* es el suministro de agua para el caldero en litros por caja (2.44 litros por caja) y *CUSa* es el costo unitario del suministro de agua en soles por metro cúbico (S/ 3.9590 por m3).

$$(2.18) \quad CSa = KSa CUSa X_j Q_{tj}$$

El costo del suministro de petróleo (*CSp*) se define en (2.19), donde *KSp* es el suministro de petróleo en galones por caja (depende de cada planta) y *CUSp* es el costo unitario del suministro de petróleo en soles por galón (S/ 11.2 por galón).

$$(2.19) \quad CSp = KSp CUSp X_j Q_{tj}$$

El costo de energía eléctrica (*CSee*) se define en (2.20), donde *KSee* es el suministro de energía eléctrica en kilowatts por caja (depende de cada planta) y *CUSEe* es el costo unitario del suministro de energía eléctrica en soles por kilowatts al mes (depende de cada planta).

$$(2.20) \quad CSee = KSee CUSEe X_j Q_{tj}$$

Depreciación del área de producción (DP) La depreciación del área de producción se compone de la del edificio, las instalaciones y las máquinas y equipos tal como se muestra en (2.21), donde *De* es la

depreciación del edificio, Di es la depreciación de las instalaciones y Dme es la depreciación de las máquinas y equipos.

$$(2.21) \quad DP = De + Di + Dme$$

La depreciación del edificio (De) se define en (2.22), donde $INVe_j$ es la inversión del edificio (depende de cada planta), para $j = 1, \dots, 3$.

$$(2.22) \quad De = 0,05 INVe_j X_j$$

La depreciación de las instalaciones (Di) se define en (2.23), donde Ii_j es la inversión en instalaciones (depende de cada planta), para $j = 1, \dots, 3$.

$$(2.23) \quad Di = 0,1 Ii_j X_j$$

La depreciación de las máquinas y equipos (Dme) se define en (2.24), La depreciación de las máquinas y equipos se define en (2.24), donde $INVme_j$ es la inversión en máquinas y equipos (depende de cada planta), para $j = 1, \dots, 3$.

$$(2.24) \quad Dme = 0,1 INVme_j X_j$$

2.2.3. Gastos operativos (GO). Los gastos operativos se componen de gastos administrativos (GA) y gastos de ventas (GV), tal como se observa en (2.25).

$$(2.25) \quad GO = GA + GV$$

Gastos administrativos (GA). Los gastos administrativos se definen en (2.26), donde Gg son los gastos de gerentes, Gs son los gastos en secretarias, DA es la depreciación del área administrativa y A es la amortización intangibles.

$$(2.26) \quad GA = Gg + Gs + DA + A$$

Los gastos de gerentes (Gg) se definen en (2.27), donde Ng es el número de gerentes y Sg es el sueldo del gerente en soles.

$$(2.27) \quad Gg = Ng (15 Sg (1 + 0,0975) + Sg)$$

Los gastos de secretarias (Gs) se definen en (2.28), donde Ns es el número de secretarias y Ss es el sueldo de las secretarias en soles.

$$(2.28) \quad Gs = Ns (15 Ss (1 + 0,0975) + Ss)$$

La depreciación del área administrativa (DA) se define en (2.29), donde $INVeoj$ es la inversión en equipos de oficina (depende de cada planta), para $j = 1, \dots, 3$ y la $INVm_j$ es la inversión en muebles (depende de cada planta), para $j = 1, \dots, 3$.

$$(2.29) \quad DA = \frac{1}{2} (0,25 INVeoj + 0,1 INVm_j) X_j$$

La amortización de intangibles (A) se define en (2.30), donde $INVint$ es la inversión en intangibles.

$$(2.30) \quad A = 0,2 INVint$$

Gastos de ventas (GV). Los gastos de ventas se definen en (2.31), donde Gjv es el gasto del jefe de ventas, Ga es el gasto de asistentes, Gtf es el gasto total en ferias y DV es la depreciación del área de ventas.

$$(2.31) \quad GV = Gjv + Ga + Gtf + DV$$

Los gastos de jefe de ventas (Gjv) se definen en (2.32), donde Nj es el número de jefes ($Nj = 1$ para un jefe de ventas) y CUj es el costo unitario del jefe de ventas en soles.

$$(2.32) \quad Gjv = Nj (15 CUj (1 + 0,0975) + CUj)$$

Los gastos de asistentes (Ga) se definen en (2.33), donde Ns es el número de secretarías y Ss es el sueldo de las secretarías en soles.

$$(2.33) \quad Ga = Ns (15 Ss (1 + 0,0975) + Ss)$$

Los gastos totales en ferias (Gtf) se definen en (2.34), donde Nf es el número de ferias, en nuestro caso igual a uno y Gf es el gasto de participar en una feria.

$$(2.34) \quad Gtf = Nf Gf$$

La depreciación del área de ventas (DV) se define en (2.35), donde $INVeoj$ es la inversión en equipos de oficina (depende de cada planta), para $j = 1, \dots, 3$ y la $INVm_j$ es la inversión en muebles (depende de cada planta), para $j = 1, \dots, 3$.

$$(2.35) \quad DV = \frac{1}{2} (0,25 INVeoj + 0,1 INVm_j) X_j$$

2.2.4. Cuotas del préstamo . La cuota está compuesta por el interés y la amortización de la deuda, ver (2.36) y la del año 1 se muestra en (2.37) y (2.38), en donde se considera periodo de gracia de la amortización de la deuda en los tres primeros trimestres del primer año, donde IF_j es la inversión fija (depende de cada planta), para $j = 1, \dots, 3$, CT_j es el capital de trabajo (depende de cada planta), para $j = 1, \dots, 3$, $PPif$ es el porcentaje de préstamo de la inversión fija, $PPct$ es el porcentaje de préstamo del capital de trabajo, Tif es la tasa de interés trimestral del préstamo de la inversión fija y Tct es la tasa de interés trimestral del préstamo del capital de trabajo.

$$(2.36) \quad Cuota_t = Interés_t + Amortización_t$$

$$(2.37) \quad Cuota_1 = Cuota IF_1 + Cuota CT_1$$

$$(2.38) \quad Cuota_1 = \left[3Tif + \left(\frac{Tif (1 + Tif)^{17}}{(1 + Tif)^{17} - 1} \right) \right] (PPif IF_j X_j) \\ + \left[3Tct + \left(\frac{Tct (1 + Tct)^{17}}{(1 + Tct)^{17} - 1} \right) \right] (PPct CT_j X_j)$$

En (2.39) y (2.40) se muestran las conversiones de tasa de interés efectiva anual a tasa de interés trimestral de la inversión fija y del capital de trabajo, respectivamente, donde $TIEAif$ es la tasa de interés efectiva anual del préstamo de la inversión fija y $TIEAct$ es la tasa de interés efectiva anual del préstamo del capital de trabajo.

$$(2.39) \quad Tif = \left((TIEAif + 1)^{0,25} - 1 \right)$$

$$(2.40) \quad Tct = \left((TIEAct + 1)^{0,25} - 1 \right)$$

La cuota del año 2 al año 5 es la misma, tal como se muestra en (2.41).

$$(2.41) \quad Cuota_{t=2, \dots, 5} = \left[4PPif IF \left(\frac{Tif (1 + Tif)^{17}}{(1 + Tif)^{17} - 1} \right) + 4PPct CT \left(\frac{Tct (1 + Tct)^{17}}{(1 + Tct)^{17} - 1} \right) \right]$$

2.2.5. Depreciación total (D) . La depreciación total está compuesta por la del área de producción (DP), la del área de administración (DA) y la del área de ventas (DV) y se define en (2.42).

$$(2.42) \quad D = DP + DA + DV$$

2.2.6. Impuesto a la renta (IR) . El impuesto a la renta se define en (2.43), donde V son las ventas, CP son los costos de producción, GO son los gastos operativos y GF son los gastos financieros.

$$(2.43) \quad IR = 0,3 (V - CP - GO - GF)$$

2.2.7. Gastos financieros (GF) . Los gastos financieros se definen en (2.44), donde I_t es el interés en soles del año t , donde $t = 1, \dots, 5$.

$$(2.44) \quad GF = I_t$$

2.2.8. Costo de capital promedio ponderado financiero (CCPPF) . En (2.45) se muestra el costo de capital promedio ponderado que será considerado como tasa de descuento en la evaluación del proyecto, donde X_j es la variable binaria, 1 si se construye la planta j y 0 de otra manera, para $j = 1, 2$ y 3 , IF_j es la inversión fija de la planta j para $j = 1, \dots, 3$, CT_j es el capital de trabajo de la planta j , para $j = 1, \dots, 3$, $PPif$ es el porcentaje del préstamo en inversión fija, $PPct$ es el porcentaje del préstamo en capital social y CS es el capital social en soles.

$$(2.45) \quad CCPPf = \frac{0,18 CS + 0,14 \left[PPif \sum_{j=1}^3 (X_j IF_j) + PPct \sum_{j=1}^3 (X_j CT_j) \right]}{\sum_{j=1}^3 [X_j (IF_j + CT_j)]}$$

El coeficiente de 0.18, es porque se asumió que el costo de oportunidad de capital del inversionista es de 18.00

Los coeficientes de 0.14, es por la multiplicación de 0.20 y 0.70. El coeficiente de 0.20 es porque se asumió que la tasa de interés efectiva anual tanto para el préstamo de la inversión fija, como para el capital de trabajo es de 20.00 %, y 0.70 por la diferencia entre 100 % y 30 % (impuesto a la renta).

2.3. Formulación del modelo de programación no lineal (PNL) .

2.3.1. Variables de decisión del modelo de PNL . Se consideró como variables de decisión para el modelo de programación no lineal las siguientes:

$X_j = 1$ si se construye la planta j y 0 de otra manera, donde $j = 1, \dots, 3$; $PPif$ = porcentaje del préstamo en inversión fija; $PPct$ = Porcentaje del préstamo en capital social y CS = capital social en soles.

2.3.2. Función objetivo del modelo de PNL . La función objetivo para el siguiente modelo de PNL es la de maximizar el valor actual neto financiero, tal como se muestra en (2.46).

$$(2.46) \quad \begin{aligned} MAX Z = & 0,7 \sum_{t=1}^5 \frac{\sum_{j=1}^3 (V - CMD - CMOD - CSa - CSp - CSee - DP - DA - DV)}{(1 + CCPPf)^t} \\ & - 0,7 \sum_{t=1}^5 \frac{CMOI + Gg + Gs + A + Gjv + Ga + Gf}{(1 + CCPPf)^t} \\ & - \sum_{t=1}^5 \frac{CUOTA_t - D - A - 0,3GF}{(1 + CCPPf)^t} - \sum_{j=1}^3 (IF_j X_j + CT_j X_j) \end{aligned}$$

El coeficiente de 0.7 en la función objetivo de maximización resultó de restar 100 % y el impuesto a la renta que es igual a 30 %.

2.3.3. Restricciones del modelo de PNL . Se consideró las siguientes restricciones:

Para implementar una sola planta se define en (2.47).

$$(2.47) \quad \sum_{j=1}^3 X_j = 1$$

La producción máxima de cajas por disponibilidad de materia prima se define en (2.48).

$$(2.48) \quad \sum_{j=1}^3 X_j Q_j \leq 300,000$$

La disponibilidad de capital social se define en (2.49).:

$$(2.49) \quad CS \leq 1,000,000$$

La inversión total se define en (2.50).

$$(2.50) \quad CS + PPif \sum_{j=1}^3 (X_j IF_j) + PPct \sum_{j=1}^3 (X_j CT_j) \leq \sum_{j=1}^3 X_j (IF_j + CT_j) + 0,00001$$

El coeficiente de 0.00001 sirve para no hacer indeterminado la solución del costo de capital promedio ponderado y con ello tener una solución factible.

El préstamo máximo se define en (2.51).

$$(2.51) \quad PPif + PPct \leq 0,6 \sum_{j=1}^3 [X_j (IF_j + CT_j)]$$

2.4. Simulación Monte Carlo del proyecto. En la simulación Monte Carlo del proyecto se consideraron las siguientes variables aleatorias.

2.4.1. Variable aleatoria de abastecimiento de materia prima. La disponibilidad de anchoveta es una variable aleatoria a tomar en cuenta porque depende de las cuotas de pesca, temporadas de pesca, estación del año y fenómenos climatológicos como el Fenómeno El Niño, haciéndolo imprevisible para hacer programas de producción.

Con registros de desembarque de anchoveta destinadas a conservas entre enero de 2008 a diciembre de 2011, se obtuvo con el programa StatFit de Promodel, que los desembarques siguen una distribución Lognormal (-7.18e+003, 9.53, 0.28). En las Figuras 2.3 y 2.4 se observan la función de densidad y la función de distribución del desembarque de anchoveta destinada a conservas.

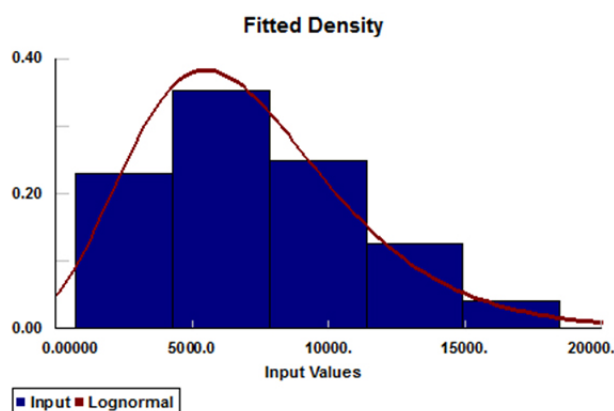


FIGURA 2.3. Función de densidad de probabilidad de la disponibilidad de anchoveta para conserva

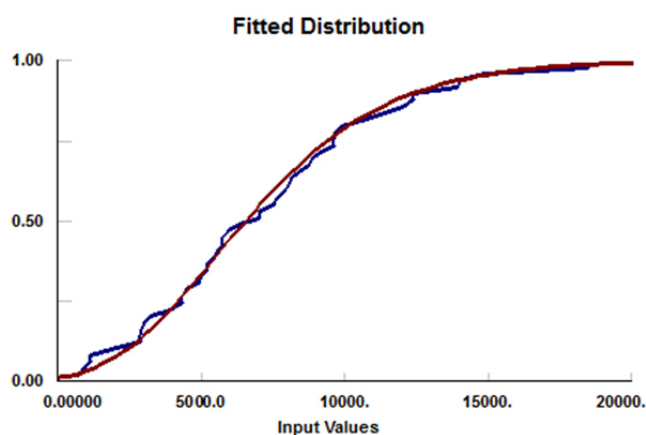


FIGURA 2.4. Función de distribución de probabilidad de la disponibilidad de anchoveta para conserva

2.4.2. Variables aleatorias en la planta. Las principales variables aleatorias en la planta son el rendimiento de la materia prima, que está en función de la calidad de la materia prima, y la eficiencia del caldero. Dentro de la experiencia práctica en planta, se consideró una distribución de probabilidad normal de media 81.18 % y desviación estándar 1 % para el rendimiento de la materia prima, y media 75 % y desviación estándar de 3 % para la eficiencia del caldero.

2.4.3. Variables aleatorias de mercado. Dentro de las variables aleatorias de mercado se consideraron la demanda cuantitativa de conservas, precio de las conservas y el precio del petróleo.

En el Cuadro 2.8 se muestra la demanda anual en caja de conservas de tres mercados simulados.

CUADRO 2.8
Demanda anual (en cajas de conservas)

Año	Mercado 1	Mercado 2	Mercado 3
1	80,000	100,000	120,000
2	93,000	105,000	130,000
3	85,000	115,000	122,000
4	111,000	120,000	140,000
5	120,000	130,000	155,000

Para determinar la función de densidad de la demanda del mercado se utilizó el programa StatFit de Promodel. Con este programa se determinó que sigue una distribución normal de media igual a 115,067 cajas y desviación estándar igual a 20,264 cajas. En las Figuras 2.5 y 2.6 se observan la función de densidad y la función de distribución de la demanda del mercado.

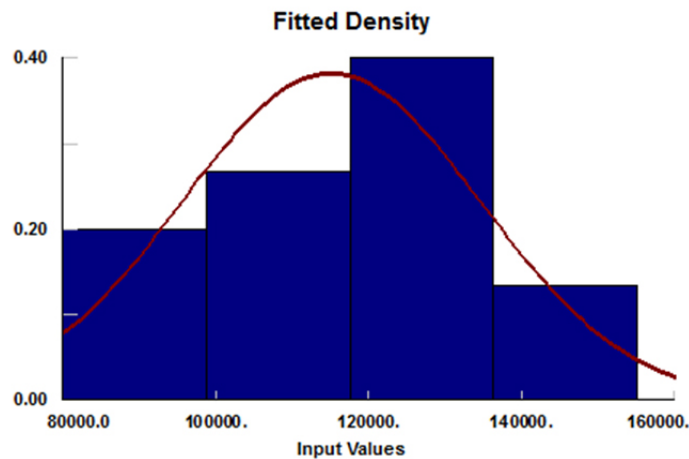


FIGURA 2.5. Función de densidad de probabilidad de la demanda de conservas

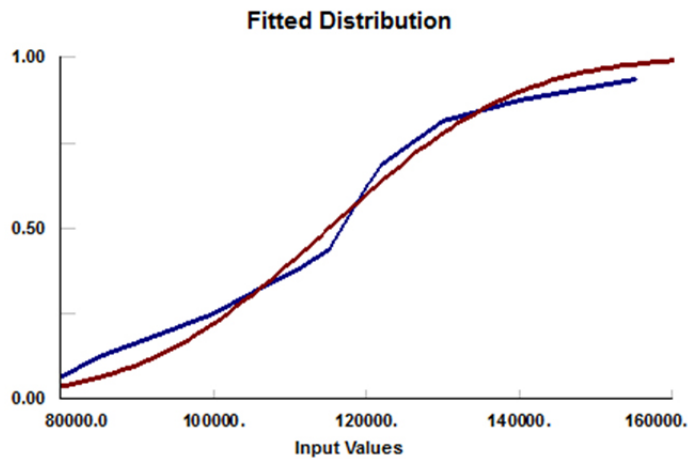


FIGURA 2.6. Función de distribución de probabilidad de la demanda de conservas

En la determinación de la función de densidad del precio de las conservas se utilizó el mismo programa que para la demanda de conservas, el StatFit de Promodel y se encontró de que sigue una distribución normal de media igual a S/ 2.9 y desviación estándar igual a S/ 3.38e-002. En las Figuras 2.7 y 2.8 se muestran la función de densidad de probabilidad y la función de distribución de probabilidad del precio de la lata de conserva de anchoveta respectivamente.

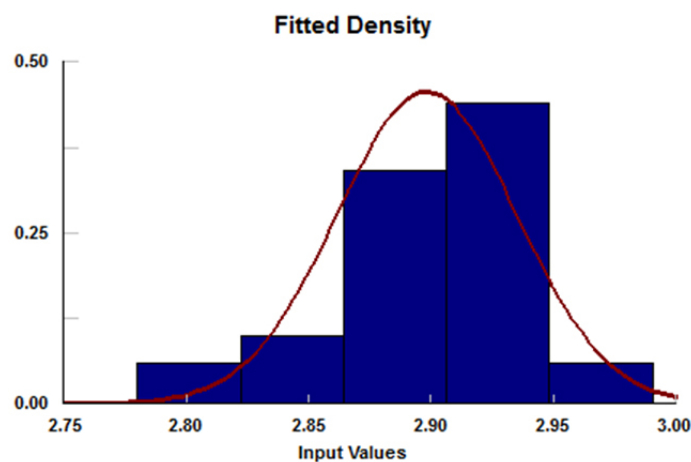


FIGURA 2.7. Función de densidad de probabilidad del precio de la lata de conserva de anchoveta

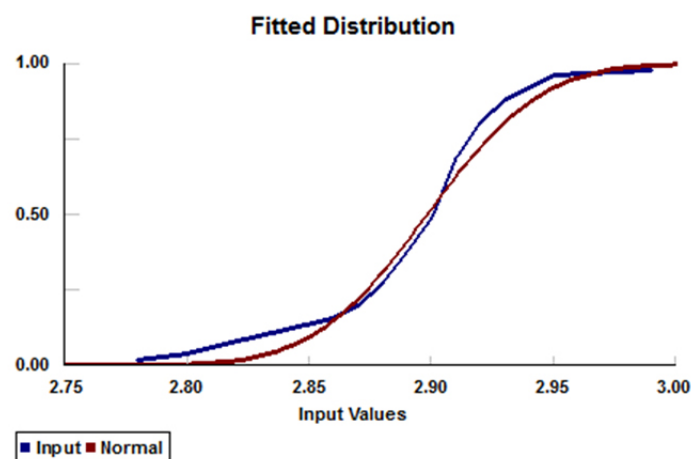


FIGURA 2.8. Función de distribución de probabilidad del precio de la lata de conserva de anchoveta

Se utilizaron datos del precio del petróleo de enero de 2006 a mayo de 2012 y con el StatFit de Promodel se obtuvo que el precio del petróleo sigue una distribución normal de media igual a S/ 9.53 y desviación estándar igual a S/ 0.734. En las Figuras 2.9 y 2.10 se muestran la función de densidad de probabilidad y la función de distribución de probabilidad del precio del petróleo Diesel 2.

3. Resultados y discusiones.

3.1. Modelo de programación no lineal. La solución del Solver de Excel recomienda que para optimizar la función objetivo de maximizar el valor actual neto financiero (VANF) se debe instalar la planta 3, con un porcentaje de préstamo del 81.01 % y 15.29 % para la inversión fija y capital de trabajo respectivamente, y utilizar S/ 876,000 de S/ 1,000,000 que se tenía como capital social.

El valor actual neto financiero al 19.20 % de tasa de costo de capital promedio ponderado es de S/ 14,503,152 y S/ 15,321,782 sin liquidación y con liquidación respectivamente, y para la tasa interna de retorno financiero (TIRF) es de 516.80 % sin liquidación y 516.91 % con liquidación.

3.2. Simulación Monte Carlo. Se utilizó para hacer la simulación Monte Carlo el programa @Risk con una corrida con 1,000 iteraciones.

En los resultados de las corridas de simulación se consideró como variables de salida el VANF sin liquidación y con liquidación, y el TIRF sin liquidación y con liquidación.

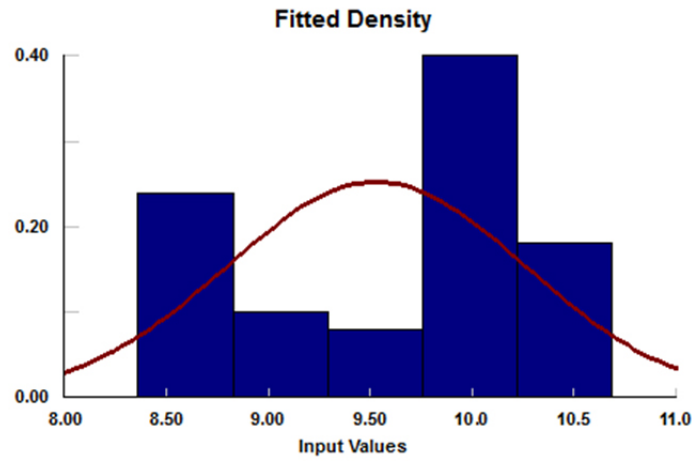


FIGURA 2.9. Función de densidad de probabilidad del precio del Petróleo Diésel 2

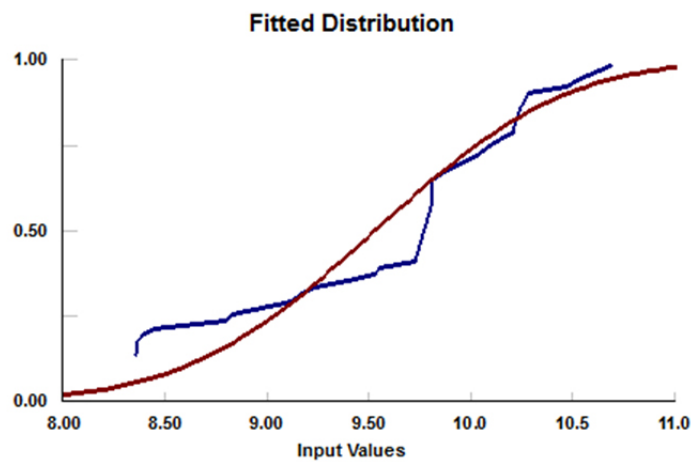


FIGURA 2.10. Función de distribución de probabilidad del precio del Petróleo Diésel 2

Al hacer la simulación Monte Carlo se obtuvo para el VANF sin liquidación un mínimo de S/ 10,290,572, un máximo de S/ 22,102,304 y una media de S/ 16,517,086; para el VANF con liquidación un mínimo de S/ 11,109,202, un máximo de S/ 22,920,935 y una media de S/ 17,335,717 tal como se observa en las Figuras 3.1 y 3.2.

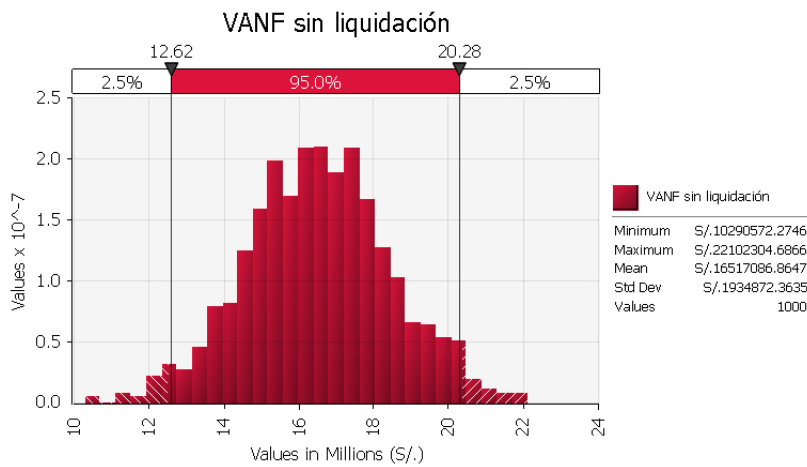


FIGURA 3.1. Función de Densidad de Probabilidad del VANF sin liquidación

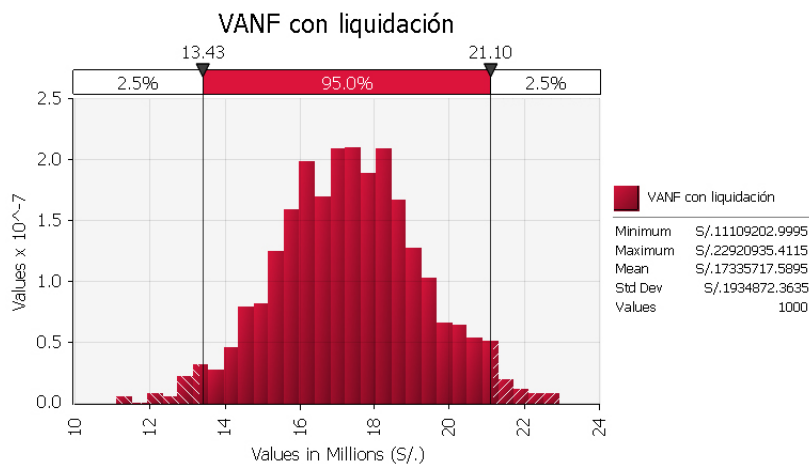


FIGURA 3.2. Función de Densidad de Probabilidad del VANF con liquidación

Se obtuvo para el TIRF sin liquidación un mínimo de 277 % un máximo de 948 % y una media de 587 %; para el TIRF con liquidación un mínimo de 277 %, un máximo de 948 % y una media de 587 % tal como se observa en las Figuras 3.3 y 3.4.

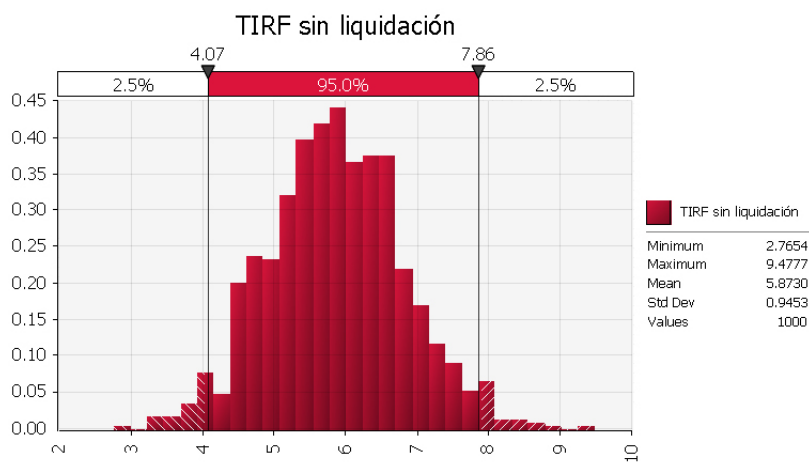


FIGURA 3.3. Función de Densidad de Probabilidad del TIRF sin liquidación

En la gráfica acumulada ascendente de la Figura 3.5 se observa que el VANF con liquidación tiene una menor probabilidad (0.6 %) de tener un valor menor a S/ 12,620,000, sin embargo el VANF sin liquidación tiene una mayor probabilidad (95.0 %) de que se obtenga un valor entre S/ 12,620,000 y S/ 20,280,000.

Según los resultados de la simulación se puede observar que hay un 95 % de confianza de que se puede obtener un VANF sin liquidación entre S/ 12,620,000 y S/ 20,280,000; y entre S/ 13,430,000 y S/ 21,100,000 para el VANF con liquidación tal como se muestra en las Figuras 3.1 y 3.2. En el caso de la evaluación del TIRF sin liquidación, se puede decir que existe un 95 % de confianza de que está entre 407 % y 786 %; y entre 408 % y 786 % para el TIRF con liquidación, tal como se observa en las Figuras 3.3 y 3.4.

Como se puede observar en la metodología lo primero que se realizó fue optimizar y luego simular, pero que hubiera pasado si se hubiera simulado primero y luego optimizado. Para responder a esa inquietud se tomará el concepto de teoría de decisiones, allí se considera que existen alternativas de decisión y eventos o estados de la naturaleza. Lo primero que se hace es tomar la decisión y luego suceden los eventos con lo que se obtienen resultados estimados, en cambio si primero suceden los eventos se podría tomar una mejor decisión en base a lo ocurrido, pero como se trata de eventos aleatorios podría cambiar después de la decisión tomada, con lo cual sería difícil determinar si es mejor o no hacer primero la optimización que la simulación.

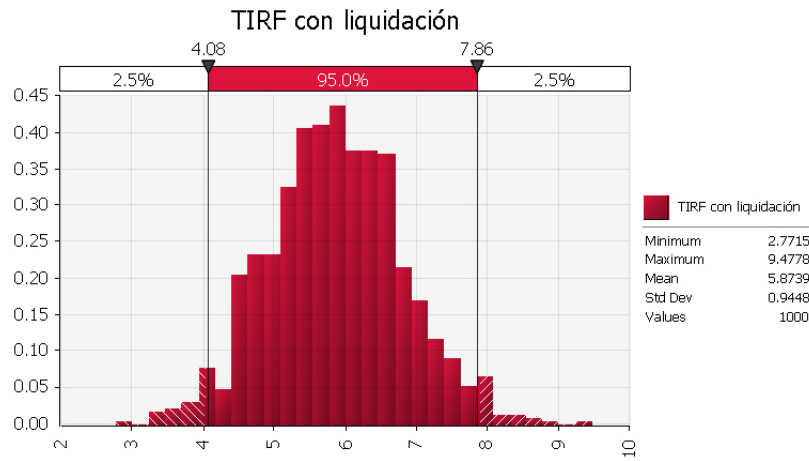


FIGURA 3.4. Función de Densidad de Probabilidad del TIRF con liquidación

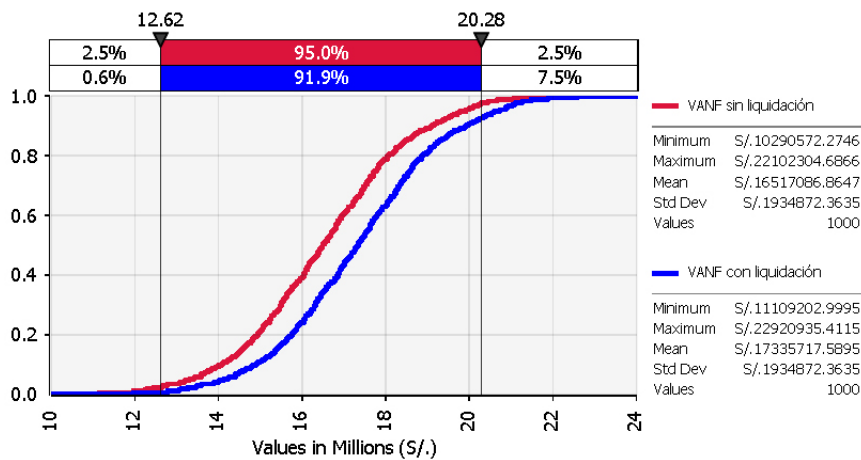


FIGURA 3.5. Gráfica acumulada ascendente del VANF sin liquidación y con liquidación

4. Conclusiones.

1. En la construcción del modelo matemático de un proyecto industrial, se pueden plantear varias funciones objetivos, convirtiéndose en un modelo de programación multiobjetivo en donde lo que se busca no es la optimización sino la solución más eficiente. En este trabajo de investigación solo se maximizó el valor actual neto financiero para determinar que planta instalar, además de los porcentajes de los préstamos para la inversión fija, capital de trabajo y el capital social, pero podría optimizarse otras funciones como minimizar costos o tiempos de finalización de proyectos [18].
2. En los proyectos industrial pesqueros se realizan cálculos de ingeniería para determinar el balance de materia y energía, el número y capacidades de las máquinas, así como el espacio requerido para la instalación. Es importante el nivel de elaboración del proyecto, porque a nivel de perfil, a no requerir mayores cálculos de ingeniería podría tener mayor riesgo tomar una decisión que en un proyecto a nivel de prefactibilidad donde se hacen cálculos estimados en ingeniería.

5. Agradecimientos. Un agradecimiento especial a todas las personas que colaboraron directamente o indirectamente con la realización de este trabajo de investigación.

ORCID and License

Christian Ramos Angeles <https://orcid.org/0000-0002-2275-2858>,

Pedro Espinoza Haro <https://orcid.org/0000-0002-8018-1790>.

This work is licensed under the [Creative Commons Attribution-NoComercial-ShareAlike 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Referencias

- [1] Aboelmagd Y.M.R. Linear programming applications in construction sites. *Alexandria Engineering Journal*. 2018; **57**: 4177-4187.

- [2] Armaneri Ö., Özdağoğlu G., Yalçinkaya Ö. An integrated decision support approach for project investors in risky and uncertain environments. *Journal of Computational and Applied Mathematics*. 2010; **234**:2530-2542.
- [3] Bhattacharyya R., Kumar P., Kar S. Fuzzy R&D portfolio selection of interdependent projects. *Computers and Mathematics with Applications*. 2011; **62**:3857-3870.
- [4] Chevalier E., Vath V.L., Roch A., Scotti S. Optimal exit strategies for investment projects. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*. 2015; **425**:666-694.
- [5] De Souza J.S., Neto F.J., Anzanello M.J., Filomena T.P. A non-traditional capital investment criteria-based method to optimize a portfolio of investments. *International Journal of Industrial Engineering*. 2010; **19**(4):193-203.
- [6] Ji X., Zhu S., Wang S., Zhang S. A stochastic linear goal programming approach to multistage portfolio management based on scenario generation via linear programming. *IIE Transactions*. 2005; **37**:957-969.
- [7] Klanšek U., Pšunder M. Cost Optimal Project Scheduling. *Organizacija*. 2008; **41**(4):153-8.
- [8] Kelliher Ch.F., Mahoney L.S. Using Monte Carlo Simulation to improve long-term investment decisions. *The Appraisal Journal*. 2000; **68**(1):44-56.
- [9] Lohmann, J., Baksh, S. The IRR, NPV and Payback Period and their relative performance in common capital budgeting decision procedures for dealing with risk. *The Engineering Economist*. 1994; **39**(1):17-47.
- [10] Manotas D.F. Optimal economic project selection under uncertainty: an illustration from an utility company. *Ingeniería y Competitividad*. 2009; **11**(2):41-52.
- [11] Milanovic D.Lj., Milanovic D.D., Misita, M. The evaluation of risky investment projects. *FME Transactions*. 2010; **38**: 103-6.
- [12] Moussourakis J., Haksever C. Project Compression with Nonlinear Cost Functions. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2010; **136**(2):251-9.
- [13] Nawrocki, D., The problems with Monte Carlo simulation. *Journal of Financial Planning*. 2001; **14**(11):92-106.
- [14] Platon V., Constantinescu A. Monte Carlo Method in risk analysis for investment projects. *Procedia Economics and Finance*. 2014; **15**:393-400.
- [15] Nguyen T.T. Portfolio selection under higher moments using fuzzy multi-objective linear programming. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*. 2016; **30**:2139-2156.
- [16] Padberg M., Wilczak M.J. Optimal Project Selection When Borrowing and Lending Rates Differ. *Mathematical and Computer Modelling*. 1999; **29**:63-78.
- [17] Poveda G. *Modelo matemático y dimensional para el planeamiento óptimo de industrias de procesos*, 1ºed. Medellín, Colombia: Instituto Tecnológico Metropolitano; 2008.
- [18] Ramos C.R., Flores C.A. Reducción del tiempo de finalización del proyecto de una planta de conservas de pescado utilizando un modelo de programación lineal. *Anales Científicos UNALM*. 2016; **77**(1):110-7.
- [19] Taylor B.W., Moore L.J., Clayton E.R. R&D project selection and manpower allocation with integer nonlinear goal programming. *Management Science*. 1982; **28**(10): 1149-1158.
- [20] Zhang X.-S., Cui J.-C. A project evaluation system in the state economic information system of China: An operations research practice in public sectors. *International Transactions in Operational Research*. 1999; **6**:441-452.
- [21] Rudenko Z.G. Nonlinear Optimization Problem of Interdependent Investment Projects Portfolio. *Automation and Remote Control*. 2016; **77**(10):1849-1854.