

Evaluación económica reproducible para
proyectos de inversión bajo incertidumbre usando
métodos cuantitativos para la toma de decisiones

Artur Herbert Malek Huidobro
415031756

2023-03-06

Contents

1	Introduccion	5
1.1	Medicina Personalizada	7
2	Procedimiento	11
2.1	Métodos cuantitativos de toma de decisión	12
2.2	Prueba del funcionamiento de los métodos cuantitativos	22
3	Resultados	33
4	Discusion	35
5	Conclusiones	37

Chapter 1

Introduccion

El avance exponencial que hemos experimentado como sociedad, tanto en el desarrollo de nuevas tecnologías (reflejado en el incremento del número de patentes concedidas año con año, 391 mil patentes concedidas en 2019 comparado con 49 mil en 1963) (Marco et al. 2015), como en el aumento del volumen de información generada (Holst 2021), así como en el incremento en la rapidez con la que podemos analizarla y extraer significado de ella (Davenport and Diche 2013) aunado a un ambiente de inversión de mayor incertidumbre (Ahir, Bloom, and Furceri 2020) hace más crítica la evaluación de proyectos previo a su implementación, dada la correlación existente entre el aumento de incertidumbre y la disminución en la inversión (Leahy and Whited 1996).

El uso de técnicas cuantitativas para la toma de decisiones en sin lugar a duda una idea que ha sido estudiada por más de seis lustros. John Bishop, Robert Schlaifer y Howard Raiffa revolucionaron el concepto de Toma de Decisiones por medio de la integración de conceptos de una escuela de pensamiento estadístico en los años 50. En específico, Raiffa y Schlaifer desarrollaron un método para cuantificar el conocimiento subjetivo utilizando **Probabilidad Bayesiana Subjetiva** mientras trabajaban en **Harvard Business School** (McDonald 2017), influenciando de esta manera a generaciones de administradores educados en HBS (a través del curso de **Managerial Economics Reporting and Control** o MERC) y por lo mismo, su efecto debería de sentirse a través de la comunidad de negocios hasta hoy en día. Sin embargo, resultados de un análisis de una encuesta a ejecutivos de compañías de **Fortune 500** indican que las mayores barreras de adopción eran (Green, Newson, and Jones 1976):

1. Los beneficios de usar las técnicas no son claramente entendibles por los administradores
2. Los administradores no tienen el conocimiento necesario respecto a técnicas cuantitativas

3. Los administradores no fueron expuestos a técnicas cuantitativas al inicio de su entrenamiento.

La lista continúa. Sin embargo, este top 3 nos ayuda a ver cierta parte de la problemática que se relaciona al entendimiento de los métodos cuantitativos por parte de la administración de las empresas. Esto es un problema importante que puede ser minimizado (al menos en parte) por el uso de tecnologías disponibles hoy en día.

Para este trabajo, se busca comparar los resultados de decisión de inversión, para tres proyectos de implementación de nuevas tecnologías en la industria química, con base en los métodos cuantitativos: Simulación Monte Carlo, Análisis de Sensibilidad, Valor Monetario Esperado (EMV por sus siglas en inglés) y Matriz de Toma de Decisiones (Stefanovic and Stefanovic 2005). Esto con el fin de mostrar la diferencia entre las decisiones que se tomarían con cada uno de los métodos por separado y cómo se puede combinar el uso de estos métodos para mejorar la toma de decisiones.

El utilizar R, en específico RMarkdown y paquetes del tidyverse, nos permite crear un marco de análisis el cual es fácil de actualizar conforme se obtenga mayor (o nueva) información de la(s) inversión(es) que está(n) intentando analizarse. En mi experiencia en la industria, toma mucho tiempo utilizar herramientas distintas para el análisis de la información y para la presentación de la misma (ej. Excel y PowerPoint, si se utilizan las herramientas de Microsoft). Incluso si se intenta utilizar esfuerzos de automatización para esto, como macros o código en VBA, se requiere de mayor esfuerzo y es más fácil hacer cambios sobre los documentos que causen errores al correr el código de automatización.

Los tres proyectos de implementación a ser evaluados; “Digitalización de la agricultura”, “Biotecnología Industrial” y “Medicina Personalizada”; estos fueron escogidos con base en el impacto que pueden llegar a tener, además de que forman parte del cuadrante de tendencias disruptivas y con fines económicos de la industria química descritos en: (Falter et al. 2017).

1.1 Medicina Personalizada

Dado que las enfermedades son más similares a una “red” de actividades aberrantes (comunicación y comportamiento celular, proteínas multifuncionales, genes modificadores, etc.), que a una progresión lineal de síntomas (Li et al. 2015), la medicina personalizada puede ayudar a determinar el tratamiento apropiado para un individuo con base en grandes cantidades de información a nivel de población (Ho et al. 2020).

La medicina personalizada o de precisión cuenta con dos acercamientos, el primero involucra el uso de tecnologías para adquirir y validar información de poblaciones, tales como análisis ómico de células y descubrimiento de biomarcadores para su subsecuente aplicación a nivel de paciente. El segundo, involucra el uso de tecnologías para adquirir y evaluar la información de un individuo para su propio tratamiento. El uso de ambos acercamientos se podría realizar a través de su integración, de manera que la información de población se utilice para guiar qué compuesto utilizar con base en la información genética de la persona, seguido de una dosificación dinámica guiada por información del individuo (Ho et al. 2020).

Para la tecnología específica a evaluar de Medicina Personalizada, escogimos una que queda bajo el segundo acercamiento. En específico, en una solución para dosificación dinámica, la cual se encuentra al cerca del final de la cadena de valor, es decir, de un método de producción de las tabletas para cada individuo.

1.1.1 Tabletas Personalizables

La tecnología, de Medicina Personalizada evaluada en este trabajo, está enfocada al paso siguiente de los acercamientos descritos en la sección anterior, en especial al segundo acercamiento con fines de dosificación dinámica y patrón de liberación del compuesto activo en tabletas impresas utilizando tecnología de impresión 3D.

El método propuesto por Neriah para resolver el problema de proveer medicina personalizada a la población en general para individuos específicos efectiva y eficientemente, es a través de la fabricación versátil de tabletas utilizando moldes específicamente diseñados de diferentes formas y tamaños con el fin de permitir la personalización de los siguientes aspectos de una tableta: dosis, duración, perfil de liberación y combinación de diferentes compuestos (Tan et al. 2020).

Este acercamiento para proveer medicina personalizada a la población en general cuenta con sus desafíos logísticos, y de producción, los cuales se podrían ver reflejados en costos operativos elevados. Continuaremos esta discusión en la sección de resultados específica a esta tecnología.

1.1.1.1 Modelos de negocio

La implementación de esta tecnología se presta a dos modelos de negocio similares, pero que divergen en el punto de producción de las tabletas personalizadas. En el primer modelo de negocio la producción de las tabletas personalizadas se lleva a cabo en un centro operativo que atiende a un número definido de farmacias y hospitales que se encuentren en la cercanía. Mientras que en el segundo modelo de negocio se producen las tabletas en las farmacias o en los hospitales mismos.

En ambos casos el cliente final haría un chequeo inicial en el hospital o la farmacia en donde, con la ayuda de un doctor y análisis del caso particular del paciente, se determina la dosis, así como el perfil y tiempo de liberación de los componentes de la tableta personalizada. Esta información se agregaría a un expediente compartido en donde cada orden contendría la información necesaria para producir las tabletas según las especificaciones necesarias.

A continuación se muestran los diagramas que muestran los dos modelos de negocio.

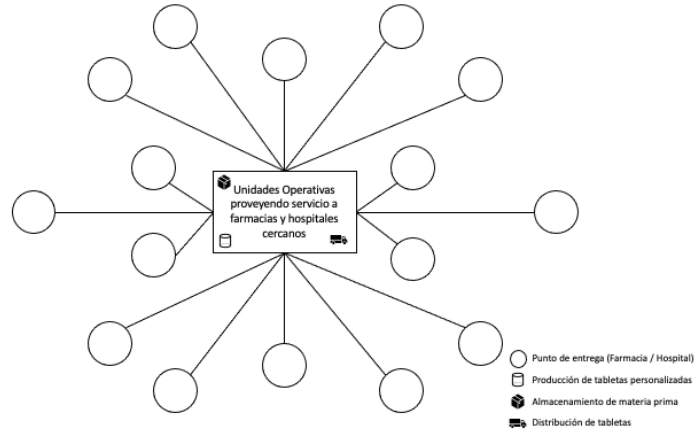


Figure 1.1: Diagrama de modelo de negocio con unidades operativas con producción semi-centralizada

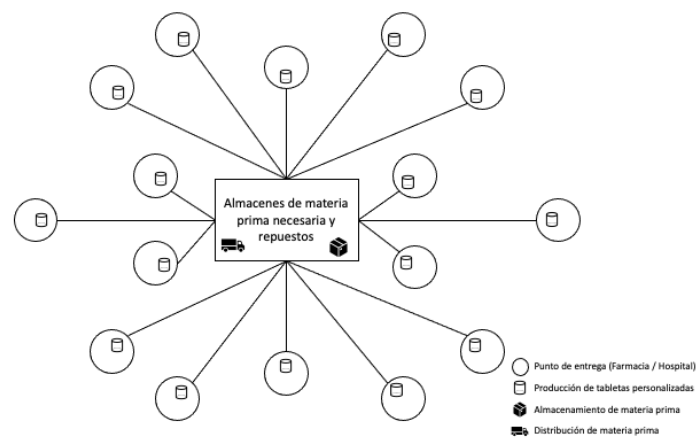


Figure 1.2: Diagrama de modelo de negocio con producción en cada punto de venta (Farmacias / Hospitales)

Chapter 2

Procedimiento

Para el desarrollo de esta tesina se hace uso de R version 4.2.2 (2022-10-31) de forma que el trabajo aquí descrito sea totalmente reproducible. A continuación podrán observar la información de la sesión activa durante la compilación de este trabajo:

```
## R version 4.2.2 (2022-10-31)
## Platform: x86_64-apple-darwin17.0 (64-bit)
## Running under: macOS Ventura 13.2
##
## Matrix products: default
## LAPACK: /Library/Frameworks/R.framework/Versions/4.2/Resources/lib/libRlapack.dylib
##
## locale:
## [1] en_US.UTF-8/en_US.UTF-8/en_US.UTF-8/C/en_US.UTF-8/en_US.UTF-8
##
## attached base packages:
## [1] stats      graphics  grDevices  utils      datasets  methods   base
##
## other attached packages:
## [1] webshot_0.5.4      DiagrammeR_1.0.9  data.tree_1.0.0    formattable_0.2.1 scales_1.2.1
## [6] knitr_1.41         EnvStats_2.7.0    forcats_0.5.2      stringr_1.5.0      dplyr_1.0.10
## [11] purrr_0.3.5        readr_2.1.3       tidyr_1.2.1        tibble_3.1.8       ggplot2_3.4.0
## [16] tidyverse_1.3.2    pacman_0.5.1      bookdown_0.32
##
## loaded via a namespace (and not attached):
## [1] httr_1.4.4          sass_0.4.4          jsonlite_1.8.4      modelr_0.1.10       bslib_0.4.0
## [6] assertthat_0.2.1    highr_0.9           googlesheets4_1.0.1 cellranger_1.1.0    yaml_2.3.5
## [11] pillar_1.8.1        backports_1.4.1     glue_1.6.2          digest_0.6.30       RColorBrewer_1.1-3
## [16] rvest_1.0.3         colorspace_2.0-3    htmltools_0.5.3     pkgconfig_2.0.3     broom_1.0.5
```

```
## [21] haven_2.5.1      processx_3.8.0    tzdb_0.3.0        timechange_0.1.1
## [26] generics_0.1.3   farver_2.1.1      ellipsis_0.3.2     cachem_1.0.6
## [31] cli_3.4.1        magrittr_2.0.3    crayon_1.5.2       readxl_1.4.1
## [36] evaluate_0.18    fs_1.5.2          fansi_1.0.3        xml2_1.3.3
## [41] hms_1.1.2        gargle_1.2.1      lifecycle_1.0.3    munsell_0.5.0
## [46] callr_3.7.3      compiler_4.2.2    jquerylib_0.1.4    tinytex_0.42
## [51] grid_4.2.2       rstudioapi_0.14   htmlwidgets_1.5.4  visNetwork_2.1.2
## [56] rmarkdown_2.18   gtable_0.3.1      DBI_1.1.3          R6_2.5.1
## [61] fastmap_1.1.0    utf8_1.2.2        stringi_1.7.8      vctrs_0.5.1
## [66] tidyselect_1.2.0 xfun_0.35
```

2.1 Métodos cuantitativos de toma de decisión

En esta sección se describen los métodos cuantitativos que se usaron para el presente trabajo.

rrr Revisar el documento siguiente: (Tapiero 2013)

rrr Revisión de métodos de evaluación que puede ser útil para este trabajo. (Crundwell 2008)

rrr **Artículo que se ve interesante para la introducción a tomar en cuenta los riesgos para la evaluación económica de proyectos de inversión** (Bartošová, Majerčák, and Hrašková 2015)

2.1.1 Orden de uso de los métodos

El orden de los métodos utilizado en este trabajo para la evaluación de los proyectos de inversión es el representado en el siguiente diagrama:

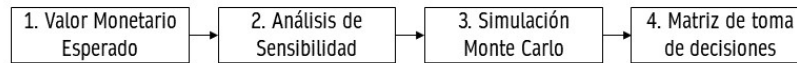


Figure 2.1: Diagrama del orden de uso de los métodos cuantitativos

La razón de esto es la siguiente:

1. El método de valor monetario esperado lo utilizamos como primer acercamiento a la evaluación de los proyectos ya que con éste podemos evaluar el proyecto utilizando escenarios simples con base en una probabilidad asociada a cada escenario.

2. El método de análisis de sensibilidad nos permite cuantificar el impacto sobre la evaluación del proyecto que produce el cambio sobre las diferentes variables del modelo. Esto nos permite identificar las variables que tienen el mayor impacto sobre la evaluación del proyecto.
3. El método Monte Carlo utiliza distribuciones de probabilidad (en específico para las variables que tienen un mayor impacto sobre el proyecto), con el fin de calcular la confianza que se tiene sobre el resultado de la evaluación.
4. El método de matriz de toma de decisiones requiere de la cuantificación de diferentes factores de decisión entre los cuales se incluye el retorno esperado que calculamos con el método de simulación Monte Carlo. Esto nos sirve para tomar decisiones, entre diferentes alternativas de inversión, cuando se tiene más que un sólo parámetro de decisión.

2.1.2 Ecuaciones utilizadas

Flujo de Caja Libre (FCF) La ecuación para el cálculo del flujo de caja libre “*Free Cash Flow*” utilizada a lo largo del trabajo fue tomada de (Berk and DeMarzo 2017).

$$FCF = (Ing. - Cost. - Depr.) * (1 - \tau_c) + Depr. - Inv. - \Delta CTN \quad (2.1)$$

Donde:

- *FCF* significa Flujo de Caja Libre (o Free Cash Flow)
- *Ing.* representa los ingresos
- *Cost.* representa los costos
- *Depr.* representa la depreciación
- τ_c representa la tasa gravable de impuestos
- *Inv.* representa la inversión
- ΔCTN representa el cambio en el capital de trabajo neto

Valor Presente Neto (NPV) La ecuación utilizada para el Valor Presente Neto es una adaptación de la ecuación para el método “*The Present Worth Method*” tomada de (Sullivan, Wicks, and Koelling 2015).

$$NPV = \sum_{k=0}^N FCF_k (1 + i)^{-k} \quad (2.2)$$

Donde:

- i representa la tasa de interés efectiva (effective interest rate) por cada periodo

- k representa el índice de cada periodo ($0 \leq k \leq N$)
- FCF_k representa el flujo de caja libre al final del periodo k
- N representa el número de periodos en el horizonte de la evaluación.

2.1.3 Valor Monetario Esperado

Para los fines de este trabajo realizamos el cálculo del valor monetario esperado dado por la función:

$$EMV = \sum_{i=0}^n NPV_i \cdot p_i \quad (2.3)$$

Donde:

- EMV representa el valor monetario esperado (o Expected Monetary Value)
- i representa el índice de los posibles escenarios
- n representa el número de posibles escenarios
- NPV_i representa el valor presente neto de los posibles escenarios
- p_i representa la probabilidad de que dicho valor presente neto i se materialice

Para fines de comparación utilizamos la metodología de análisis de problemas de toma de decisiones complejas basada en *Cumulative Prospect Theory* propuesta en (Dudzińska-Baryła 2018).

Diagrama de solución

El cálculo del EMV se realizará a través de árboles de decisión (*decision trees*) en donde se representen tres posibles escenarios relacionados a la decisión de llevar a cabo la inversión:

- *Escenario bajo*: representa la posibilidad de que el valor sea menor al escenario medio (ej. 15%)
- *Escenario medio*: representa el valor más probable resultado de la investigación (ej. 70%)
- *Escenario alto*: representa la posibilidad de que el valor sea mayor al resultado de la investigación (ej. 15%)

Esto se llevó a cabo para cada uno de los tres componentes más importantes del modelo: ingresos, costos e inversión.

rrr La siguiente referencia tiene información del algoritmo (Prellezo 2017)

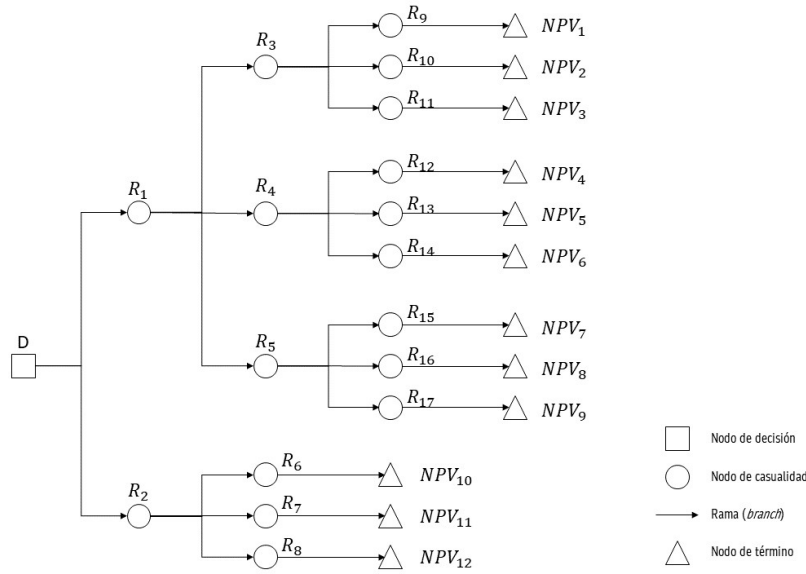


Figure 2.2: Diagrama de árbol de decisión tomando con tres escenarios por cada nodo de casualidad

2.1.4 Análisis de Sensibilidad

El análisis de sensibilidad es un grupo de métodos que nos ayuda a validar el modelo, a calibrarlo y a enfocar los esfuerzos de recolección de información sobre las variables que tienen un mayor impacto sobre el modelo en cuestión (Borgonovo et al. 2017). Ya que si las decisiones son insensibles ante cambios sobre un aspecto del modelo, entonces no hay necesidad de modelar a mayor detalle ese aspecto en particular (Felli and Hazen 2004).

Estos métodos se pueden dividir en dos grupos distintivos: métodos dedicados al modelo en cuestión y métodos agnósticos al modelo. Los primeros buscan responder preguntas específicas al modelo, mientras que los segundos buscan responder preguntas más generales (Borgonovo et al. 2017).

Borgonovo explica la importancia de la adecuada formulación de la pregunta de análisis de sensibilidad y presenta las siguientes configuraciones que han encontrado a lo largo de su investigación:

1. Priorización de parámetros del modelo
2. Fijación de parámetros del modelo
3. Estructura del modelo
4. Dirección del cambio
5. Estabilidad

Este trabajo utiliza principalmente las primeras dos configuraciones con el fin de definir qué parámetros deben de ser estudiados a mayor detalle para la simulación Monte Carlo.

El método principal que revisamos en este trabajo es el método determinístico de diagramas tornado.

Diagrama de solución

El siguiente diagrama muestra el esquema de solución para el análisis de sensibilidad utilizando el método determinístico de diagrama de tornado.

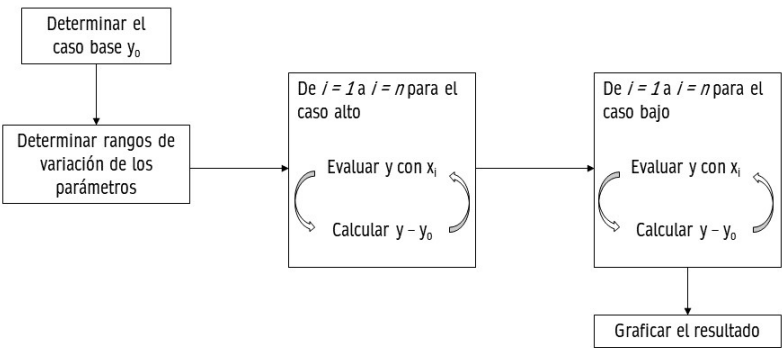


Figure 2.3: Diagrama de Solución de Análisis de Sensibilidad

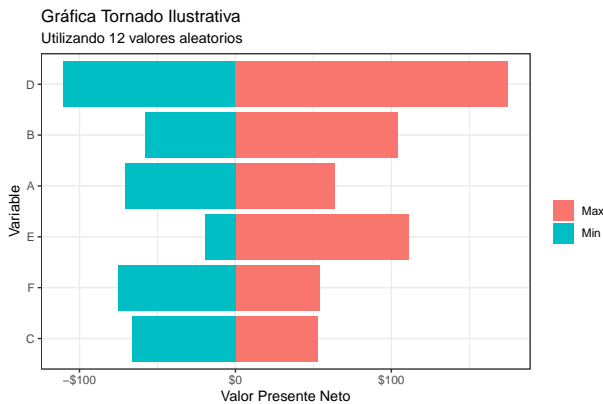


Figure 2.4: Ejemplo de una gráfica tornado con 6 variables y 6 pares de números aleatorios representando valores máximos y mínimos

rrr Un ejemplo de evaluación económica con análisis de sensibilidad para revisar (Lee, Chae, et al. 2017)

2.1.5 Simulación Monte Carlo

El método Monte Carlo es una técnica para analizar fenómenos por medio de algoritmos computacionales basados, en esencia, en la generación de números aleatorios. De hecho, uno de los primeros usos de la computadora fue la solución de problemas a través del uso de Métodos Monte Carlo. Hoy en día los métodos de simulación Monte Carlo siguen teniendo un dominio casi exclusivo sobre la simulación de interacciones complejas en cualquier área donde los modelos cuantitativos son posibles (Shonkwiler and Mendivil 2009).

rrr Temas más avanzados con aplicación en finanzas (Shonkwiler 2013)

rrr Framework ejemplo (Dheskali, Koutinas, and Kookos 2020)

rrr Ejemplo de simulación Monte Carlo para la inversión en tecnología de tercera generación de plantas nucleares (Wealer et al. 2021)

rrr Ejemplo de simulación Monte Carlo para la evaluación económica de producción de hidrógeno (Lee, Heo, et al. 2017)

Números aleatorios

Para el método de simulación Monte Carlo se necesita generar valores aleatorios (una secuencia de estos) para las variables cuya variabilidad tenga un impacto significativo sobre el resultado de la evaluación del proyecto.

Una secuencia de números aleatorios se define como una secuencia R_1, R_2, \dots donde $R_i \sim U(0,1)$ para todo i donde R_i sea independiente de R_j para todos los casos donde $i \neq j$. (Dagpunar 2007)

El lenguaje R ya contiene funciones que nos permiten obtener secuencias de números aleatorios: *rnorm* para secuencias aleatorias de números con distribución normal, *rweibull* de distribución Weibull, *rcauchy* para distribución Cauchy, etc.

Diagrama de solución

El siguiente diagrama muestra el flujo de información a través de las funciones utilizadas para la evaluación por el método de Simulación Monte Carlo:

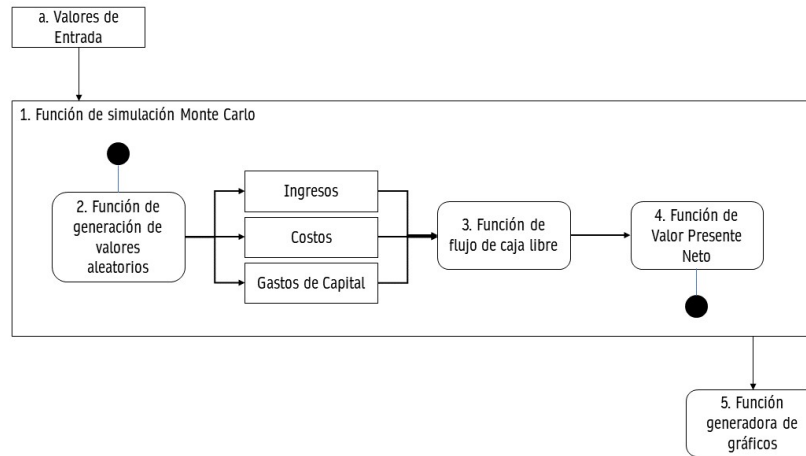


Figure 2.5: Diagrama de Solución Monte Carlo

Para utilizar el método de simulación Monte Carlo se desarrollaron 5 funciones (1. a 5. del diagrama) las cuales cumplen las siguientes funciones:

1. Función que recibe los valores de entrada para evaluar el proyecto específico (número de periodos a evaluar, número de simulaciones a realizar, etc.) y llama a las demás funciones el número de veces especificado.
2. Función que genera los valores aleatorios para calcular los ingresos, costos y/o gastos de capital. Esta función como valor de entrada necesita que se especifique el tipo de distribución de probabilidad a utilizar, el caso estándar utiliza la distribución normal para calcular los valores.
3. Función que calcula el flujo de caja libre de efectivo tomando como valor de entrada las variables descritas en la sección de ecuaciones utilizadas.
4. Función que calcula el valor presente neto del flujo de caja libre calculado previamente.
5. Función que toma la información generada y genera las gráficas para su visualización.

2.1.6 Matriz de Toma de Decisiones

Las metodologías, conceptos, modelos y técnicas utilizadas como soporte para la toma de decisiones, tienen como objetivo incrementar la consistencia entre el proceso de toma de decisiones con las metas y con el sistema de valores establecidos por el individuo o el grupo de individuos que buscan llegar a una decisión, es por esto que un problema de decisión no puede considerarse como un objeto independiente y completamente objetivo, sino que debe de considerarse en su relación con el individuo (o individuos) y la realidad (Azzabi et al. 2020).

Los métodos de decisión utilizando múltiples criterios se pueden dividir en los siguientes (Azzabi et al. 2020):

- Compensatorio: Compensación absoluta entre las diferentes evaluaciones (ej. Método de suma ponderada).
- Compensación parcial: Compensación parcial entre las diferentes evaluaciones.
- Sin compensación: No hay compensación entre las diferentes evaluaciones o dimensiones de la decisión.

El acercamiento de toma de decisión multi-criterio (MCDA o Multi-Criteria Decision Approach) es tanto un marco teórico como un conjunto de técnicas, para la ayuda en la toma de decisiones, que tienen la finalidad de proveer con un orden de preferencia de opciones, de mayor a menor preferencia, con base en una serie de objetivos definidos (a lo que estaremos llamando sistema de valores en este trabajo) que pueden tener una naturaleza tanto monetaria como no monetaria (Azzabi et al. 2020). Esto nos permite simplificar un problema de decisión complejo en una serie de componentes sobre los cuales podemos utilizar nuestro sistema de valores al momento de llevar a cabo el proceso de decisión.

Pasos para realizar el MCDA (Azzabi et al. 2020):

1. Establecer el contexto de decisión (o sistema de valores)
2. Identificar las opciones
3. Identificar criterios y subcriterios
4. Puntuación y compensación
5. Evaluar los criterios para cada opción

Sistema de valores

A continuación se definen los elementos del sistema de valores utilizado en este trabajo para la toma de decisión de inversión.

Criterios y subcriterios

Los *criterios* pueden definirse como la base para la evaluación de diferentes alternativas, ya que son una medida del rendimiento utilizado para evaluar las

Table 2.1: Comparativo del valor de los criterios (AHP)

Criterio	VPN	Beneficio Social	Impacto Ambiental
VPN	1	1/2	1/4
Beneficio Social	2	1	1/2
Impacto Ambiental	4	2	1

alternativas de decisión. Ya sean estos cuantitativos o cualitativos, aunque normalmente estos últimos se traducen a una escala numérica (Korhonen, Wallenius, et al. 2020).

Los criterios a utilizar en este análisis son:

1. Maximizar Valor Presente Neto
2. Maximizar beneficio social
3. Minimizar impacto ambiental

Puntuación y compensación

Para este trabajo el valor relativo de los criterios se basa en el Proceso Analítico Jerárquico (*AHP o Analytic Hierarchy Process*). Este es un acercamiento sistemático para el análisis de decisiones complejas originalmente desarrollado por *Thomas L. Saaty* en los años setenta. Este acercamiento tiene el objetivo de encontrar una solución que mejor se adecue a las metas de los tomadores de decisión, al mismo tiempo que les ayuda a comprender de mejor forma lo que en realidad quieren (Korhonen, Wallenius, et al. 2020).

Un ejemplo de valores relativos se pueden observar en la tabla 2.1.

Esta tabla muestra la importancia relativa entre los criterios, siendo las columnas la representación de la importancia relativa del criterio mostrado en el renglón en relación al criterio que encabeza la columna. Si revisamos la tabla 2.1 podemos observar que el valor Presente Neto tiene una importancia relativa de 1 contra si mismo, mientras que el criterio de Beneficio Social tiene una importancia relativa 2 veces mayor que el VPN y el Impacto Ambiental tiene una importancia relativa 4 veces mayor al VPN. Si continuamos a la siguiente columna podemos ver que el VPN tiene una importancia 2 veces menor al Beneficio Social y así sucesivamente.

(Cambridge Institute for Sustainability Leadership (CISL) 2019)

Table 2.2: Flujos de efectivo de prueba

periods	cashflow
0	\$-5,000
1	\$1,000
2	\$1,000
3	\$1,000
4	\$1,000
5	\$1,000
6	\$1,000
7	\$1,000
8	\$1,000
9	\$1,000
10	\$1,000

2.2 Prueba del funcionamiento de los métodos cuantitativos

Cuando se genera cualquier modelo es importante hacer pruebas de funcionamiento básico antes de utilizar los valores reales. Esto permite corregir cualquier error que pueda no ser aparente a primera vista una vez que se intenta utilizar con valores reales, así como para visualizar posibles problemas que puedan presentarse a futuro.

Como primer prueba, revisaremos el funcionamiento de la fórmula de valor presente neto utilizando los flujos de efectivo mostrados en la tabla 2.2:

Si utilizamos una tasa de descuento de 8.00% obtenemos un valor presente neto de \$1,710.08. Lo cual debería de concordar con un valor calculado manualmente de \$1,710.08 usando los principios de flujo de efectivo descontado revisados en la parte de metodología.

Table 2.3: Valores para prueba de funcionamiento de EMV

Variable	Alto	Bajo
Costo Implementación	\$20,000	\$10,000
Costo Electricidad	\$100	\$50

2.2.1 Valor Monetario Esperado

Datos ilustrativos

Para realizar nuestra prueba de cálculo de EMV, podemos utilizar el siguiente ejemplo:

Una decisión de inversión en una nueva tecnología que permitiría disminuir el costo de electricidad de una planta de producción de estireno (mediante la reducción de la demanda energética comparado con la tecnología antigua). Supongamos para este ejemplo que los nodos de casualidad relevantes son los siguientes:

- Costo de la implementar la tecnología
- Costo de la electricidad

Estamos suponiendo dentro del costo de implementación el costo de oportunidad de cerrar la planta de producción. El costo alto o bajo en gran parte se estaría viendo afectado por el tiempo que debe de quedar cerrada la planta para la instalación y pruebas relacionadas.

Para ambos costos revisaremos solo dos casos, uno bajo y otro alto. Los valores específicos que usaremos se pueden encontrar en la tabla 2.3.

Al igual, imaginemos que por especificaciones de la tecnología sabemos que vamos a necesitar de 500 watts anuales bajo la tecnología nueva, a comparación de 800 watts anuales requeridos con la tecnología antigua.

La estructura del árbol de decisión para este ejemplo se puede visualizar en la figura 2.6:

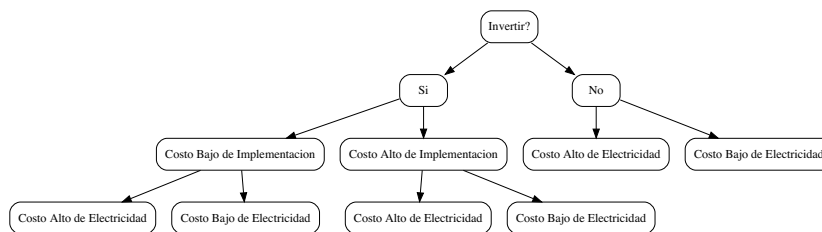


Figure 2.6: Árbol de Decisión para el ejemplo de inversión

Utilizando los valores previamente especificados podemos calcular los valores para cada una de las ramas, así como los valores monetarios esperados para

Table 2.4: Resultados de prueba de Valor Monetario Esperado

Nivel	Probabilidad	NVP
Invertir?	NA	\$-826,376
-Si	NA	\$-327,068
-Costo Bajo de Implementacion	50.00%	\$-322,068
-Costo Alto de Electricidad	60.00%	\$-400,085
-°Costo Bajo de Electricidad	40.00%	\$-205,042
-°Costo Alto de Implementacion	50.00%	\$-332,068
-1 Costo Alto de Electricidad	60.00%	\$-410,085
-°1 Costo Bajo de Electricidad	40.00%	\$-215,042
°-No	NA	\$-499,308
-2 Costo Alto de Electricidad	60.00%	\$-624,135
°-2 Costo Bajo de Electricidad	40.00%	\$-312,068

cada uno de los nodos de decisión, cuyos resultados los podemos observar en la tabla 2.4.

Otra forma de visualizar nuestros resultados, que puede llegar ser más amigable, se encuentra en la figura 2.7:

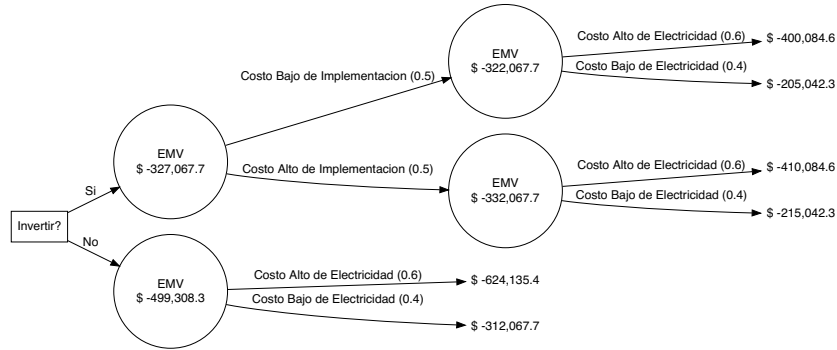


Figure 2.7: Árbol de Decisión para el ejemplo de inversión con valores calculados de EMV

En este ejemplo podemos observar que la opción con el mayor EMV es aquella en donde se toma la decisión de instalar la nueva tecnología con el fin de disminuir el requerimiento energético de la planta.

Como podemos observar, los valores de EMV de los nodos de casualidad son iguales a la suma producto de los valores de NPV de los nodos *hijos* y la probabilidad de que ocurra el caso.

Con este ejemplo se demuestra el correcto funcionamiento de las funciones de solución para el método de Valor Monetario Esperado.

2.2. PRUEBA DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS MÉTODOS CUANTITATIVOS²⁵

Table 2.5: Valores de caso base para prueba de Análisis de Sensibilidad

variable	valor
Inversion.Capital	1,100,000.00
Gasto.Anual	200,000.00
Ahorro.Anual	500,000.00
TMAR	0.10
Periodo	5.00

Table 2.6: Flujos de efectivo de caso base para prueba de Análisis de Sensibilidad

periodo	cashflow
0	\$-800,000
1	\$300,000
2	\$300,000
3	\$300,000
4	\$300,000

2.2.2 Análisis de Sensibilidad

Para comprobar el funcionamiento de la solución de análisis de sensibilidad podemos usar el siguiente ejemplo adaptado de (Sullivan, Wicks, and Koelling 2015), ejemplo 11-15.

En ese ejemplo se analiza la inversión en un sistema de visión utilizado por el servicio postal para ordenar correos.

Este problema tiene 4 variables sujetas a variación:

- Inversión de Capital
- Gasto Anual
- Ahorro Anual
- TMAR (Tasa Mínima Aceptable de Retorno)

Además de esto, necesitamos una variable que defina el periodo de evaluación de la inversión. Para fines de este ejemplo, este periodo será estático a través de todos los casos.

Podemos observar los valores base en la tabla 2.5:

Utilizando estos valores para replicar sobre el periodo de análisis de la inversión obtenemos los flujos de efectivo mostrados en la tabla 2.6:

Utilizando los valores de la tabla 2.6 calculamos el valor presente neto en \$150,959.63. Lo cual muestra que el caso base es rentable.

Table 2.7: Especificación de variación para prueba de Análisis de Sensibilidad

variable	bajo	alto
Inversion.Capital	-20.00%	20.00%
Gasto.Anual	-20.00%	20.00%
Ahorro.Anual	-20.00%	20.00%
TMAR	-20.00%	20.00%
Periodo	0.00%	0.00%

Table 2.8: Valores de NPV para prueba de Análisis de Sensibilidad

variable	caso	npv	diff
Inversion.Capital	alto	\$-69,040	\$-220,000
Gasto.Anual	alto	\$-15,835	\$-166,795
Ahorro.Anual	alto	\$567,946	\$416,987
TMAR	alto	\$111,205	\$-39,755
Inversion.Capital	bajo	\$370,960	\$220,000
Gasto.Anual	bajo	\$317,754	\$166,795
Ahorro.Anual	bajo	\$-266,027	\$-416,987
TMAR	bajo	\$193,638	\$42,678

Ahora proseguiremos a revisar la sensibilidad a los cambios sobre las cuatro variables que mencionamos previamente. Para esto vamos a especificar un +20% en el caso alto y un -20% en un caso bajo. Como ya habíamos comentado, el periodo se mantendrá constante.

Estos valores de especificación de los casos alto y bajo para cada una de las variables nos permite calcular el valor presente neto modificando cada una de las variables a su caso particular, mientras que los demás valores se mantienen como los valores del caso base. Estos valores de NPV los podemos ver en la tabla 2.8.

Lo cual nos permite realizar nuestra gráfica de tornado, la cual podemos observar en la figura 2.8.

Como podemos observar en la gráfica tornado (figura 2.8), el mayor impacto proviene de la variable de Ahorro Anual, seguida de la Inversión de Capital. Lo cual nos indicaría que son las variables que deben de ser detalladas a mayor nivel en análisis subsecuentes por el impacto que tendría en la decisión de inversión.

Podemos observar en la gráfica que el –Valor Presente Neto– tiene una correlación positiva con el Ahorro Anual, mientras que tiene una correlación negativa con la Inversión de Capital, el Gasto Anual y la TMAR, como era esperado.

2.2. PRUEBA DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS MÉTODOS CUANTITATIVOS 27

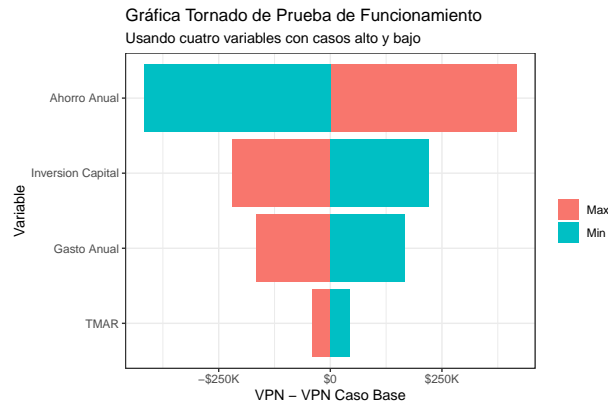


Figure 2.8: Gráfica de Tornado de valores de prueba de funcionamiento

Table 2.9: Valores caso base de Prueba Monte Carlo

tipo	periodo	material	volumen	precio	dist vol	dist pre
Producto	1	Producto1	1000	\$5.00	normal	normal
Producto	1	Producto2	500	\$3.00	normal	normal
Material	1	Material1	500	\$1.00	cauchy	normal
Material	1	Material2	800	\$1.50	cauchy	normal
Material	1	Material3	200	\$2.00	cauchy	normal
Utility	1	Electricidad	100	\$0.05	poisson	cauchy
Utility	1	Gas	50	\$0.03	poisson	cauchy

2.2.3 Simulación Monte Carlo

Para el ejemplo de simulación Monte Carlo vamos a seguir el siguiente flujo:

- Definir los valores medios
- Realizar el cálculo para una simulación
- Mostrar que se obtiene el mismo valor con la función Monte Carlo
- Mostrar los resultados de 1000 simulaciones

En esta primera parte definimos productos, así como materiales y –utilities– necesarios para su producción. De cada uno de estos definimos: volumen, precio, distribución del valor de volumen y distribución del valor de su precio. Al igual definimos el valor de inflación 2.00% y el número de periodos a analizar 10.

Con estos valores podemos utilizar alguna función para generar el pronóstico de las diferentes variables durante el periodo estudiado.

Para este ejemplo sólo estamos aumentando el precio de acuerdo a la inflación. La tabla 2.10 nos muestra los valores de los últimos periodos.

Table 2.10: Pronóstico de valores caso base de Prueba Monte Carlo

tipo	periodo	material	volumen	precio	dist vol	dist pre
Producto	9	Producto1	1000	\$5.86	normal	normal
Producto	9	Producto2	500	\$3.51	normal	normal
Material	9	Material1	500	\$1.17	cauchy	normal
Material	9	Material2	800	\$1.76	cauchy	normal
Material	9	Material3	200	\$2.34	cauchy	normal
Utility	9	Electricidad	100	\$0.06	poisson	cauchy
Utility	9	Gas	50	\$0.04	poisson	cauchy
Producto	10	Producto1	1000	\$5.98	normal	normal
Producto	10	Producto2	500	\$3.59	normal	normal
Material	10	Material1	500	\$1.20	cauchy	normal
Material	10	Material2	800	\$1.79	cauchy	normal
Material	10	Material3	200	\$2.39	cauchy	normal
Utility	10	Electricidad	100	\$0.06	poisson	cauchy
Utility	10	Gas	50	\$0.04	poisson	cauchy

Ya que contamos con esta base, podemos alterar los valores de forma aleatoria utilizando una función para generar estos valores.

Como podemos observar en la tabla 2.11, generamos valores aleatorios con base en los valores pronosticados.

Estos flujos de caja libre los podemos utilizar para calcular el valor presente neto, el cual resulta en \$20,722.30.

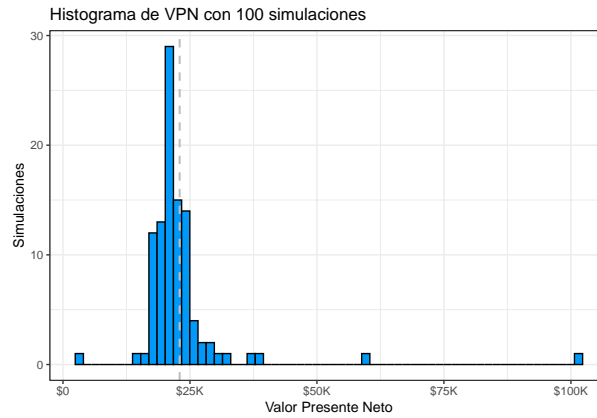


Figure 2.9: Histograma de prueba de Monte Carlo

El primer paso es comparar el valor de nuestro ejemplo contra la corrida de la función Monte Carlo para asegurar que esté funcionando correctamente y

2.2. PRUEBA DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS MÉTODOS CUANTITATIVOS29

Table 2.11: Valores aleatorios de Prueba Monte Carlo

tipo	periodo	material	volumen	precio	dist_vol	dist_pre	volumen_r	precio_r
Producto	1	Producto1	1,000	5.00	normal	normal	999.37	4.96
Producto	1	Producto2	500	3.00	normal	normal	500.18	3.69
Material	1	Material1	500	1.00	cauchy	normal	500.73	1.03
Material	1	Material2	800	1.50	cauchy	normal	799.67	0.76
Material	1	Material3	200	2.00	cauchy	normal	199.82	2.19
Utility	1	Electricidad	100	0.05	poisson	cauchy	104.00	0.16
Utility	1	Gas	50	0.03	poisson	cauchy	39.00	-2.05
Producto	2	Producto1	1,000	5.10	normal	normal	1,000.49	6.57
Producto	2	Producto2	500	3.06	normal	normal	500.74	3.21
Material	2	Material1	500	1.02	cauchy	normal	498.77	3.19
Material	2	Material2	800	1.53	cauchy	normal	799.97	2.01
Material	2	Material3	200	2.04	cauchy	normal	202.53	1.33
Utility	2	Electricidad	100	0.05	poisson	cauchy	107.00	-1.09
Utility	2	Gas	50	0.03	poisson	cauchy	44.00	6.69

Table 2.12: Flujos de Caja Libre de Prueba Monte Carlo

periodo	ingresos	costos	fcf
1	\$6,803.20	\$1,494.27	\$3,716.25
2	\$8,177.75	\$3,644.13	\$3,173.54
3	\$5,194.90	\$938.98	\$2,979.14
4	\$6,029.42	\$2,778.26	\$2,275.82
5	\$7,902.15	\$2,635.33	\$3,686.77
6	\$8,960.58	\$4,079.49	\$3,416.76
7	\$6,138.58	\$900.56	\$3,666.61
8	\$7,297.64	\$3,875.64	\$2,395.41
9	\$8,985.57	\$3,577.83	\$3,785.42
10	\$7,213.67	\$2,665.63	\$3,183.63

que pueda ser replicable al usar el mismo número de semilla: 1. Los siguientes valores deberían de ser iguales: \$20,722.30 y \$20,722.30.

Una vez comprobado eso podemos correr la función con un mayor número de simulaciones: 100. Y podemos observar los resultados en la Figura: 2.9.

2.2.4 Matriz de Toma de Decisiones

[Agregar ejemplo de matriz de toma de decisiones]

Chapter 3

Resultados

Chapter 4

Discussion

Chapter 5

Conclusiones

- Ahir, Hites, Nicholas Bloom, and Davide Furceri. 2020. “60 Years of Uncertainty.” *FINANCE & DEVELOPMENT* 57 (1): 58–60. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3275033>.
- Azzabi, Lotfi, Dorra Azzabi, Abdessamad Kobi, et al. 2020. “The Multi-Criteria Approach for Decision Support.” *International Series in Operations Research and Management Science*.
- Bartošová, Viera, Peter Majerčák, and Dagmar Hrašková. 2015. “Taking Risk into Account in the Evaluation of Economic Efficiency of Investment Projects: Traditional Methods.” *Procedia Economics and Finance* 24: 68–75.
- Berk, Jonathan, and Peter DeMarzo. 2017. “Corporate Finance (; Global Ed.).” Pearson.
- Borgonovo, Emanuele et al. 2017. “Sensitivity Analysis.” *An Introduction for the Management Scientist. International Series in Operations Research and Management Science*. Cham, Switzerland: Springer.
- Cambridge Institute for Sustainability Leadership (CISL), University of. 2019. “In Search of Impact: Measuring the Full Value of Capital. Update: The Sustainable Investment Framework.” January. <https://www.cisl.cam.ac.uk/resources/sustainable-finance-publications/in-search-impact-measuring-full-value-capital-update>.
- Crundwell, Frank. 2008. *Finance for Engineers: Evaluation and Funding of Capital Projects*. Springer Science & Business Media.
- Dagpunar, John Selim. 2007. *Simulation and Monte Carlo: With Applications in Finance and MCMC*. John Wiley & Sons.
- Davenport, Tom, and Jyll Diché. 2013. “Big Data Analytics: What It Is and Why It Matters.” *SAS*. https://www.sas.com/en_us/insights/analytics/big-data-analytics.html.
- Dheskali, Endrit, Apostolis A. Koutinas, and Ioannis K. Kookos. 2020. “Risk Assessment Modeling of Bio-Based Chemicals Economics Based on Monte-Carlo Simulations.” *Chemical Engineering Research and Design* 163: 273–80.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cherd.2020.09.011>.
- Dudzińska-Baryła, Renata. 2018. “Analysis of Complex Decision Problems Based on Cumulative Prospect Theory.” *Operations Research and Decisions* 28 (3): 5–16.
- Falter, Wolfgang, Alexander Keller, Johann-Peter Nickel, and Henrik Meincke. 2017. “Chemistry 4.0 Growth Through Innovation in a Transforming World,” October. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/consumer-industrial-products/gx-chemistry-4.0-full-report.pdf>.
- Felli, James C, and Gordon B Hazen. 2004. “Javelin Diagrams: A Graphical Tool for Probabilistic Sensitivity Analysis.” *Decision Analysis* 1 (2): 93–107.
- Green, Thad B, Walter B Newson, and S Roland Jones. 1976. “A Survey of the Application of Quantitative Techniques to Production/Operations Management in Large Corporations.” In *Academy of Management Proceedings*, 1976:202–6. 1. Academy of Management Briarcliff Manor, NY 10510.
- Ho, Dean, Stephen R. Quake, Edward R. B. McCabe, Wee Joo Chng, Edward K. Chow, Xianting Ding, Bruce D. Gelb, et al. 2020. “Enabling Technologies for Personalized and Precision Medicine.” *Trends in Biotechnology* 38 (5): 497–518. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2019.12.021>.
- Holst, Arne. 2021. “Total Data Volume Worldwide 2010-2024.” Statista. February 2021. <https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created/>.
- Korhonen, Pekka J, Jyrki Wallenius, et al. 2020. *Making Better Decisions*. Springer.
- Leahy, John V., and Toni M. Whited. 1996. “The Effect of Uncertainty on Investment: Some Stylized Facts.” *Journal of Money, Credit and Banking* 28 (1): 64–83. <http://www.jstor.org/stable/2077967>.
- Lee, Boreum, Heetae Chae, Nak Heon Choi, Changhwan Moon, Sangbong Moon, and Hankwon Lim. 2017. “Economic Evaluation with Sensitivity and Profitability Analysis for Hydrogen Production from Water Electrolysis in Korea.” *International Journal of Hydrogen Energy* 42 (10): 6462–71.
- Lee, Boreum, Juheon Heo, Nak Heon Choi, Changhwan Moon, Sangbong Moon, and Hankwon Lim. 2017. “Economic Evaluation with Uncertainty Analysis Using a Monte-Carlo Simulation Method for Hydrogen Production from High Pressure PEM Water Electrolysis in Korea.” *International Journal of Hydrogen Energy* 42 (39): 24612–19.
- Li, Li, Wei-Yi Cheng, Benjamin S Glicksberg, Omri Gottesman, Ronald Tamler, Rong Chen, Erwin P Bottinger, and Joel T Dudley. 2015. “Identification of Type 2 Diabetes Subgroups Through Topological Analysis of Patient Similarity.” *Science Translational Medicine* 7 (311): 311ra174–74.
- Marco, Alan C, Amanda Myers, Stuart JH Graham, Paul D’Agostino, and Kirsten Apple. 2015. “The USPTO Patent Assignment Dataset: Descriptions and Analysis.”
- McDonald, Duff. 2017. *The Golden Passport: Harvard Business School, the Limits of Capitalism, and the Moral Failure of the MBA Elite*. HarperBusiness New York, NY.
- Prellezo, Raúl. 2017. “Expected Economic Value of the Information Pro-

- vided by Fishery Research Surveys.” *Fisheries Research* 190: 95–102.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fishres.2017.02.004>.
- Shonkwiler, Ronald W. 2013. *Finance with Monte Carlo*. Springer.
- Shonkwiler, Ronald W, and Franklin Mendivil. 2009. *Explorations in Monte Carlo Methods*. Springer Science & Business Media.
- Stefanovic, Michael, and Ingrid Leman Stefanovic. 2005. “Decisions, Decisions— Paper Presented at PMI® Global Congress 2005—North America.” *Decisions, Decisions*-. PA: Project Management Institute.
<https://www.pmi.org/learning/library/decisions-quantitative-making-process-7466>.
- Sullivan, William G, Elin M Wicks, and C Patrick Koelling. 2015. *Engineering Economy*. Pearson.
- Tan, Yan Jie Neriaah, Wai Pong Yong, Jaspreet Singh Kochhar, Jayant Khanolkar, Xiukai Yao, Yajuan Sun, Chi Kit Ao, and Siowling Soh. 2020. “On-Demand Fully Customizable Drug Tablets via 3D Printing Technology for Personalized Medicine.” *Journal of Controlled Release* 322: 42–52.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2020.02.046>.
- Tapiero, Charles S. 2013. *Engineering Risk and Finance*. Springer Science & Business Media.
- Wealer, B., S. Bauer, C.v. Hirschhausen, C. Kemfert, and L. Göke. 2021. “Investing into Third Generation Nuclear Power Plants - Review of Recent Trends and Analysis of Future Investments Using Monte Carlo Simulation.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 143: 110836.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110836>.