

TG-MAF
658-15
A 472
EF-3

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS MAESTRIA EN ADMINISTRACION FINANCIERA



Fundada en 1941



ADMINISTRACIÓN DEL CAPITAL DE TRABAJO CON SIMULACIÓN

Trabajo de Graduación
Presentado por:

CARLOS EDUARDO ALVARADO RAMÍREZ

Para optar al Grado de:
Master en Administración Financiera



18030003

NOVIEMBRE DE 1998.
San Salvador, El Salvador, Centro América

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR : DR. JOSÉ BENJAMÍN LÓPEZ GUILLÉN

SECRETARIO : LIC. ENNIO ARTURO LUNA

DECANO DE LA FACULTAD
DE CIENCIAS ECONÓMICAS : LIC. JOSÉ ADOLFO ORELLANA SIGUENZA

SECRETARIO DE LA FACULTAD
DE CIENCIAS ECONÓMICAS : LIC. ALBA BERTIZ MARTÍNEZ RIOS

TRIBUNAL EVALUADOR : DR. JOAN PASCUAL i ROCABERT

MAE. WALDO HUMBERTO GIMENEZ RIVAS

MADE. JOSÉ MANUEL ROMERO RIVAS

NOVIEMBRE DE 1998

SAN SALVADOR

EL SALVADOR

CENTRO AMÉRICA

Introducción

El desarrollo empresarial ha permitido que áreas del quehacer financiero, que hace unas tres décadas no tenían mayor relevancia, jueguen hoy un papel decisivo en la toma de decisiones empresariales¹. Una de estas áreas es el capital de trabajo, dentro de ella el avance en la administración del efectivo ha permitido responder a preguntas como ¿Cuáles son los niveles de efectivo que la empresa necesita para hacer frente a sus obligaciones inmediatas y hacer sus inversiones de corto plazo en el momento oportuno?.

El objetivo de este trabajo es buscar la forma de administrar el Efectivo de tal forma que la empresa no tenga que ser penalizada por insolvencia de fondos y, de igual manera no pierda ingresos por los excesos de liquidez. Para tal efecto se utilizará la técnica de la simulación.

A lo largo de este trabajo se dan algunas definiciones, no con el fin de formalizar en los conceptos que se abordan; pues se definen para efectos de convenir en cómo se entenderá cada uno de los términos que permiten aclarar las ideas que se desarrollan.

Antes de abordar el tema de la simulación, se hace un análisis de los elementos importantes del capital de trabajo que los gerentes toman en cuenta para administrar eficientemente los fondos de una empresa. De manera similar se da un panorama de los distintos métodos, tanto cualitativos como cuantitativos, que el ejecutivo financiero ha tenido para el manejo óptimo del efectivo; y se revela su aplicabilidad así como sus limitantes.

El tema de la simulación, se aborda desde *su por qué, su esencia, sus ventajas sobre otros métodos (incorporación de la incertidumbre), y sus desventajas*. Se detallan los distintos pasos que deben considerarse al querer simular un proceso o un sistema. Por último se desarrolla una aplicación para simular el riesgo de insolvencia de fondos de una empresa



¹ Yair E. Orgler, *Administración del Efectivo, Métodos y Modelos* (ECASA, 1984) p.28

| ACTIVO CIRCULANTE | PASIVO CIRCULANTE |
|--|---|
| Tesorería Inversiones realizables Cuentas por cobrar | Prestamos a corto plazo Cuentas por pagar Impuestos sobre beneficios devengados |
| Existencias | Pagos a realizar a corto plazo derivados de La deuda a largo plazo |
| Otros activos circulantes | Otros pasivos circulantes |
| Total | Total |

Cuadro 1. Componentes del Capital de Trabajo

Consideraciones sobre El Capital de Trabajo

Se entiende por capital de trabajo la diferencia que existe entre el activo circulante y el pasivo circulante, o de manera equivalente es la parte del activo circulante que se financia con préstamos a largo plazo.² Una forma menos contable de administración del capital de trabajo, se define como la administración de activos líquidos, los que pueden dividirse en cuatro grupos principales: efectivo, valores negociables, cuentas por cobrar e inventarios³. Este trabajo trata particularmente la aplicación de técnicas para el manejo de efectivo.

De lo anterior se desprende que el objeto de la gestión del capital de trabajo es el manejo adecuado del activo y pasivo circulantes para mantenerlos a un nivel aceptable y evitar caer en estado de insolvencia y aun de quiebra, o por el contrario disminuir la rentabilidad por mantener excesos de liquidez.

En el cuadro 1 se desglosan los componentes del capital de trabajo⁴

La administración del capital de trabajo se centra pues en las decisiones de corto plazo y, por lo tanto, está estrechamente relacionada con la administración del efectivo.

Un gerente que administra los fondos⁵ de una empresa de manera eficiente debe observar el nivel del saldo del efectivo, y además se plantea ¿qué cuentas debe pagar por ahora y qué pagos deben ser pospuestos y a qué costo?, o ¿debe invertir

² J. Ignacio Contreras, Mora *La Liquidez en la Empresa* (Editorial Ariel S.A. Barcelona, 1995) p.133

³ Idem cita 2 p.139, ref. W. Beranek, *Working Capital Management* (Belmont, Calif.: Wadsworth Publishing Co., Inc., 1966) p.1

⁴ Tomado de Richar A. Brealey, Stewart C. Myers, *Principios de Finanzas Corporativas* (Mc Graw-Hill, 1993) p.882

⁵ Indistintamente se utilizan los términos administración de fondos y administración de efectivo. Idem cita 2 p.1

los excedentes de liquidez cómo y cuánto?. La falta de sincronización entre las entradas y salidas de efectivo y la dificultad de predecir correctamente algunos de estos flujos, implica que debe mantenerse una cantidad adecuada de efectivo, ya sea para efectuar las transacciones regulares, para enfrentar los requerimientos inesperados de efectivo o para efectos de especulación. En el caso de enfrentarse a salidas de efectivo no pronosticadas, el costo de estas operaciones depende de la magnitud del faltante y de la frecuencia de tales eventos; una situación continua de saldos de efectivo inadecuados puede dar como resultado desaprovechar descuentos sobre compras, aceptar préstamos a corto plazo a altas tasas de interés, deterioro de la imagen de crédito y una posible insolvencia. Por tales razones las empresas deben mantener un nivel óptimo de saldos de efectivo.

Todo análisis del nivel óptimo de saldos de efectivo debe comparar los beneficios y costos marginales asociados a cambios en los saldos originales de efectivo; sin embargo el mantenimiento de saldos origina costos. Dentro de estos costos se pueden mencionar:

- ◆ El costo de oportunidad al abandonar otras oportunidades lucrativas de inversión.
- ◆ El costo al mantener efectivo, que de otra forma pudiera emplearse en cancelar el costo y el riesgo financiero que se derivan de la deuda a corto plazo de la empresa.
- ◆ El costo derivado de la excesiva confianza sobre la liquidez internamente generada, que puede apartar a la empresa del mercado financiero de corto plazo.

Una vez que se determinan los flujos de efectivo y se establecen los costos de oportunidad y los beneficios de las inversiones de la empresa, se debe construir un modelo sencillo que determine la cartera óptima del efectivo.

Qué opciones ha tenido el Administrador Financiero para el manejo del Capital de Trabajo

Además del **enfoque financiero clásico** los métodos existentes para la administración de efectivo se dividen en dos tipos:

- 1) **Prácticas empresariales y**
- 2) **Modelos analíticos.**

En esta sección se ilustran diversos métodos y modelos de ambos tipos y se analizará su relevancia para todos los aspectos del problema de administración de fondos.

Enfoque Financiero Clásico

Algunos de los aspectos más importantes de la aplicación de fondos fueron discutidos inicialmente en la literatura económica. Keynes⁶ introdujo la noción de tres motivos diferentes para mantener saldos de efectivo: **el motivo de transacciones, el de precaución y el de especulación**. Aún cuando esta teoría está en discusión, se han introducido nuevas hipótesis como la teoría de la cartera de activos para explicar la necesidad de mantener efectivo. También se puntualizó que por lo general no se sincronizan los flujos de entrada y de salida de efectivo, de tal manera que se requiere un saldo positivo de efectivo para hacer frente a las operaciones. Este y otros estudios económicos enfatizan sobre la demanda de dinero en las empresas; es decir, proporcionan información importante para las decisiones de política monetaria, pero son de poco uso para propósitos de administración de fondos en la empresa.⁷

Prácticas Empresariales

La falta de tratamiento adecuado para el tema de la administración del efectivo en la literatura financiera clásica, puede explicarse en su mayor parte por falta de interés de parte de la comunidad financiera. Antes de la década de los 60's la administración de fondos recibió relativamente poca atención de parte de los ejecutivos financieros, cuyo interés en esta área era mantener cantidades de efectivo⁸.

Esta actitud empezó a cambiar en la siguiente década debido al aumento continuó de los costos de financiamiento, el incremento en el rendimiento de los valores negociables y la acelerada expansión de la actividad empresarial, que requiere una cantidad mayor de capital de trabajo. Muchas empresas fueron advirtiendo poco a poco de minimizar el efectivo retenido, acelerar las entradas de efectivo y controlar sus salidas.

Aún cuando la solución específica para cada problema de administración de fondos varía de una empresa a otra, el enfoque general a este problema es más uniforme. Este se basa en un enfoque secuencial de decisión, en el que cada problema se resuelve separadamente, proporcionando información de entrada para la decisión siguiente.

El orden de estos pasos no es el mismo para todas las empresas, pero en la mayoría de los casos se sigue un enfoque de dos etapas.

La primera etapa comprende una proyección del monto y del estado de la posición de efectivo de la empresa, o sea, saber si se espera un sobrante o un faltante. Dado

⁶ Idem cita 2, p.27, ref. J. M. Keynes, *The General Theory of employment, interest, and Money* (New York: Harcourt, Brace and Co., 1936) p.170-174, 194-209

⁷ Idem cita 2, p.28, ref. A. H. Meltzer, The demand of money, *The Quarterly Journal of economics*, Vol 77, No.3 (agosto, 1963) p. 405-422

⁸ Idem cita 2 p.28

el valor del faltante o del sobrante, se elaboran los planes para invertir el sobrante de efectivo, o para financiar los faltantes.

Otras decisiones de administración de fondos, tales como acelerar la cobranza se toman independientemente de la decisión de financiamiento-inversión. Lo mismo se aplica para los convenios de servicios bancarios, los cuales constituyen un dato importante en la etapa de proyección. Esta metodología analiza y describe las políticas para las siguientes áreas:

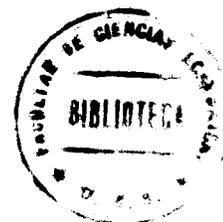
1. Pronósticos de los cambios en el saldo de efectivo
2. Financiamiento de las necesidades de efectivo
3. Inversión de los sobrantes de efectivo
4. Mejoramiento de la cobranza y otros métodos para ahorrar efectivo
5. Usos de los servicios bancarios.

Los banqueros han reconocido que las decisiones de los ejecutivos financieros se están haciendo más complejas y, por lo tanto ofrecen a las empresas más servicios en los cuales los bancos tienen una ventaja competitiva. El incremento en la complejidad y el interés en la administración del efectivo también se acompaña por un enfoque más cuantitativo.

Modelos Analíticos

Un enfoque distinto para la administración del efectivo, consiste en ofrecer una solución cuantitativa al problema y proporcionar a los gerentes las guías explícitas para la toma de decisiones de administración de fondos. A diferencia del enfoque financiero empresarial, los modelos analíticos no se concretan a una presentación de todas las alternativas disponibles y de sus ventajas y desventajas. Los costos y los beneficios de cada alternativa son transformados en funciones numéricas, y una solución a estas ecuaciones nos da las respuestas óptimas más posibles al problema. En muchos casos este enfoque representa una mejora significativa sobre las reglas simples de sentido común y las "decisiones subjetivas".

El enfoque cuantitativo para la toma de decisiones, ha atraído una atención sustancial en los últimos treinta años, y se han aplicado muchos modelos con éxito en áreas como la planeación de la producción y control de inventarios. La planeación financiera estaba atrasada en la investigación y en las aplicaciones debido a la dificultad de cuantificar algunos elementos intangibles que afectan esta área. Sin embargo algunas empresas ya han aplicado los métodos analíticos y las computadoras a sus operaciones financieras, particularmente la administración del efectivo, para lo cual es necesario el desarrollo de modelos cuantitativos



En el desarrollo de un modelo cuantitativo para un proceso de decisión sobre la administración del efectivo tienen que considerarse explícitamente un gran número de variables, restricciones y alternativas; sin embargo, con la ayuda de las computadoras, un modelo puede incorporar un número muy grande de elementos, algunos de los cuales quedan fuera del alcance del pensamiento humano.

El problema principal en el desarrollo de un modelo analítico no es su tamaño si no el proceso de cuantificación, o sea, expresar las variables y las relaciones en términos analíticos. Mientras que algunos elementos pueden ser expresados fácilmente en ecuaciones matemáticas, por ejemplo, tasas de interés, cantidades monetarias. Otros elementos como el rendimiento implícito del efectivo, consideraciones intangibles que no son fáciles de sujetar al análisis numérico. Sin embargo, por lo general las variables intangibles pueden ser convertidas a índices ponderados o bien considerarse indirectamente. Algunas veces un modelo cuantitativo se complementa con un modelo de criterio administrativo, para tomar en cuenta elementos cualitativos.

Por definición un modelo es una abstracción de la realidad y los diferentes modelos varían en su método y grado de abstracción. La prueba fundamental para el resultado de estos modelos es su aplicabilidad al problema real, que se suponen van a resolver. Un modelo puede llegar a ser tan abstracto, que ya no puede aplicarse a una situación real. Debido a que esto es lo que ha sucedido con diversos modelos de administración de fondos; cuando se analice cada modelo resaltaremos su aplicabilidad.

Es importante notar que algunos de estos modelos están relacionados primordialmente con los aspectos monetarios, con la demanda de dinero de algunas empresas. El propósito de nuestro análisis es determinar si estos modelos son también aplicables a la toma de decisiones de administración de fondos por los gerentes financieros.

Otra desventaja de algunos modelos de administración de fondos, que dan por resultado soluciones subóptimas, es su enfoque independiente de las secciones individuales del problema. Este enfoque tiene las mismas desventajas de las prácticas actuales de los negocios que dividen el proceso de decisiones de administración del efectivo en subconjuntos independientes.

Los modelos que se analizarán cubren muchos espectros del problema de administración de fondos y son resueltos con una variedad de técnicas. Debido a la importancia del método cuantitativo utilizado para solucionar estos modelos, estos se dividen en cuatro grupos de acuerdo con su técnica:

1. Control de inventarios
2. Programación dinámica
3. Programación lineal
4. Otros

Modelo de Control de Inventarios.

Las técnicas de control de inventarios dominaron los primeros modelos de optimización de la administración de fondos. La semejanza entre las cuentas del efectivo y las partidas del inventario llevaron a la adopción de los métodos de inventarios en un intento de llegar a una solución óptima del saldo de efectivo, considerando la mayoría de las variables de decisión como extrañas al problema. Esta super simplificación conduce a una solución subóptima.

La aplicación de la teoría de inventarios a la administración de los saldos de efectivo fue primeramente explorada por Baumol⁹ en conexión con la teoría monetaria. Su modelo básico, es el estándar de inventario en forma de *sierra* ver figura. 1

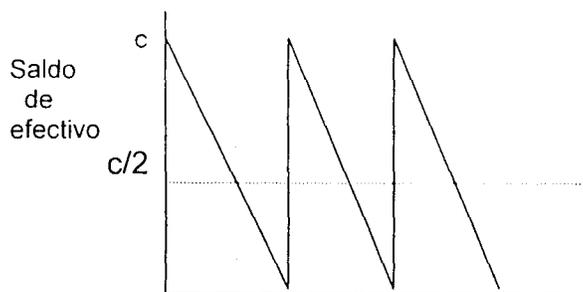


Figura 1. Diagrama de sierra. Flujos de efectivo óptimos: Un modelo sencillo de inventario.

El renglón de inventario es el efectivo que fluye hacia fuera, a una tasa constante y es reinventariado instantáneamente, mediante financiamientos o mediante retiros de una inversión. El total de las salidas de efectivo se supone que se conoce y se efectúa a una tasa constante por un periodo determinado. El tamaño y la oportunidad de los flujos de efectivo son completamente controlables y están asociados con un costo fijo por orden y a un costo variable por unidad monetaria. Como se conocen las salidas de efectivo, la única decisión de administración de fondos es cuánto efectivo obtener y con qué frecuencia suponiendo que el objetivo es minimizar los costos totales.

Basados en estos supuestos, que también fundamentan el modelo de inventario estándar Baumol resuelve su modelo y obtiene la famosa fórmula de la raíz cuadrada para el tamaño óptimo:

$$C = \sqrt{(2bT/i)^{10}}$$

⁹ Idem cita 2 p.42. ref. W. J. Baumol "The Transactions Demand for Cash: and Inventory Theoretic Approach", *Quarterly of Economics*, Vol. 66, No. 4 (Noviembre, 1952) p.545 - 556

¹⁰ La función de costo total es $F = b(T/C) + i(C/2)$, en donde T/C es el número de ordenes, $b(T/C)$ es el costo fijo total, $C/2$ es el saldo de efectivo promedio, e $i(C/2)$ es el costo variable total. El tamaño óptimo de la orden se obtiene calculando la derivada de F con respecto a C igual a cero

Idem cita 2 p.43

En donde b es el costo fijo por orden, T es la cantidad total de pagos, e i es el costo variable por unidad monetaria por periodo. Debido a que en este modelo la cantidad promedio en inventarios es la mitad de la cantidad ordenada el saldo promedio de efectivo es

$$C/2 = \sqrt{(b T/2i)}$$

Este modelo se basa en el supuesto de que los pagos se conocen y tienen que hacerse a una tasa constante y que no hay entradas de efectivo durante el periodo de pagos además, el modelo es estático es decir, no considera las interrelaciones entre los periodos subsecuentes y se limita al intervalo entre dos entradas sucesivas de efectivo, lo cual en la práctica es probablemente un periodo de tiempo muy corto. Por lo tanto, este modelo no proporciona una herramienta aplicable para la administración de efectivo.

Un modelo probabilístico un tanto diferente fue desarrollado por Miller y Orr¹¹, quienes suponen que los flujos netos de efectivo fluctúan de una manera completamente aleatoria en contra posición de los flujos de efectivo conocidos del modelo de Baumol. Basados en esto y en otros supuestos, ellos desarrollaron un modelo que determina las transferencias óptimas entre la cuenta de efectivo y la cartera de valores negociables. En este modelo, ver figura 2, cada vez que el saldo de efectivo alcanza al límite superior h , es reducido al nivel z mediante la inversión de $z - h$ unidades monetarias en valores negociables. Por otra parte cuando el saldo baja al límite inferior, es restaurado al nivel z , obteniendo z unidades monetarias de la cartera de valores negociables.

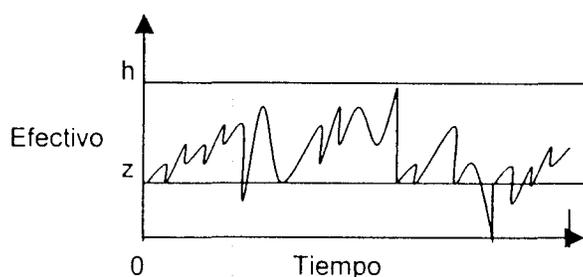


Figura 2. Saldo de efectivo controlado por límites inferiores y superiores.

El supuesto fundamental de que los flujos de efectivo son completamente aleatorios desconoce el control del ejecutivo financiero sobre diversos flujos de efectivo y la posibilidad de predecir los flujos de efectivo a corto plazo con un alto grado de exactitud. Además, su concentración en dos activos (efectivo y valores negociables) elimina muchas de las interrelaciones entre las diversas variables de decisión de la administración de fondos. Las únicas decisiones cubiertas por este modelo son el monto y la oportunidad de las transferencias entre el efectivo y los valores negociables; por lo tanto, se puede afirmar que este modelo no proporciona un instrumento aplicable a la mayoría de las empresas.

¹¹ Idem cita 2, ref. H. Miller y D. Orr, "A Model of the Demand for Money by Firms", *Quarterly Journals of Economics*, Vol. 80, No. 3 (Agosto, 1966) p.413 - 431

Programación Dinámica

Las características intertemporales de la administración del efectivo hicieron que se pensara en la posibilidad de usar la programación dinámica para resolver este problema. La extensión de un interesante modelo de la administración de fondos desarrollado por Beranek¹² requiere el uso de la programación dinámica, este describe primeramente un modelo directo de certidumbre y luego procede a discutir varios modelos de riesgo. Los principales datos de entrada utilizados son el rendimiento de los valores negociables y El costo de tener faltantes, o sea el costo incurrido cuando el saldo de efectivo baja más que el nivel mínimo requerido. La longitud del periodo de planeación del saldo de efectivo es menor o igual al saldo de salidas sucesivas de efectivo. Para aplicaciones prácticas, esto significa periodos diarios de planeación ya que la mayoría de empresas tiene varias salidas diarias de efectivo; además se supone que se genera una distribución de probabilidad de los flujos netos de efectivo para cada periodo

A diferencia de algunos métodos cuantitativos este modelo considera las interrelaciones entre diferentes variables de decisión e incorpora explícitamente la programación de pagos. Las desventaja principal de este modelo es su limitación a un solo periodo. Esta limitación hace al modelo inaplicable debido a los aspectos intertemporales del efectivo.

La expansión del método de Beranek a un modelo de periodos múltiples requiere el uso de la programación dinámica. Desafortunadamente, es difícil aplicar esta técnica a casos prácticos complejos. Además, no existe un algoritmo general para resolver modelos de programación dinámica en gran escala, de tal manera que cada caso tiene que ser desarrollado y resuelto individualmente. De donde se concluye que por el momento deben usarse otras técnicas diferentes a la programación dinámica.

Programación Lineal

La programación lineal fue aplicada por primera vez en finanzas por Charnes, Cooper y Miller en el problema conjunto de planeación operativa y financiera¹³ Robichek, Teichroew y Jones desarrollaron un modelo de programación lineal de periodos múltiples para optimizar las decisiones financieras a corto plazo¹⁴. Se concentraron en el aspecto financiero de la administración del efectivo y determinaron las cantidades óptimas a obtener de cada fuente de financiamiento, al principio de cada mes a lo largo de un año. En el modelo se consideran explícitamente cuatro tipos de financiamiento a corto plazo: Líneas de crédito no garantizadas, entrega en prenda de las cuentas por cobrar, reducción de las cuentas por pagar y préstamos a largo plazo.

¹² Idem cita 2, ref. W. Beranek, *Analysis for Financial Decisions* (Homewook, Ill.: Richard D. Irwing, 1963), p. 345-387

¹³ Idem cita 2 p.47, ref. A.Charnes W. W. Cooper, M. H. Miller, "Application of Lineal Programming to Financial Budgeting and Costing of Founds", *Journals of Business*, Vol. 32, No. 1 (Enero, 1959) p.20-46

¹⁴ Idem cita 2 p.49, ref. A. Robichek, D. Teichroew y J. M. Jones, "Optimal Short-Term Financing Decision", *Management Sciences*, Vol.12, No. 1, (Septiembre, 1965), p.1-36

El modelo supone que todo el efectivo excedente a un saldo mínimo se invierte en valores negociables en un período, es decir, el efectivo excedente de cualquier período, mas el interés correspondiente, estará disponible al principio del siguiente período. Además, incorpora más variables de decisión de administración de fondos que la mayoría de los modelos; por otra parte, no considera el punto fundamental, que cubren otros modelos de inventarios, o sea las transferencias entre el efectivo y los valores negociables. La omisión significativa de las transacciones con valores afecta la aplicabilidad de los resultados, debido a la fuerte interrelación entre todas las variables de decisión.

Simulación y Capital de Trabajo

Un supuesto fundamental que subyace en la mayoría de modelos mencionados anteriormente es la falta de incertidumbre. Suponen que las empresas conocen sus ventas, recaudaciones, costos de fabricación, gastos de ventas y administrativos, dividendos e impuestos, y por lo tanto se pueden pronosticar con certeza total sus necesidades futuras netas de fondos.

En la realidad las operaciones comerciales se caracterizan por el cambio y la incertidumbre, y muchos de los términos que aparecen en el presupuesto de caja no son constantes, sino variables sujetas a fluctuaciones aleatorias. La necesidad de financiación en un período dado esta determinado conjuntamente por el saldo inicial de caja y el flujo corriente de fondos. A su vez el saldo inicial de caja puede concebirse como el resultado acumulativo de los flujos de fondos anteriores. Por lo tanto, cualquier pronostico significativo de las necesidades futuras exige no solo las distribuciones de probabilidad de los flujos individuales de fondos, sino también las distribuciones conjuntas de probabilidades de un conjunto entero de flujos de fondos.

Si las necesidades de financiación no sólo son casuales, sino que posiblemente están correlacionadas en el tiempo, la búsqueda de la pauta optima de financiación se convierte en una tarea considerablemente más difícil. Es necesario observar que en condiciones de incertidumbre, la empresa debe adoptar sus decisiones de financiación de manera secuencial más que simultáneamente. La naturaleza secuencial del proceso sugiere que la solución de los problemas financieros puede exigir el empleo de la programación dinámica. Sin embargo el objetivo de este trabajo es presentar un método distinto, el de la **simulación** con computadoras. Este método no solo simplifica la solución, sino que es una de las técnicas más versátiles utilizadas por los ejecutivos financieros en las ultimas décadas.

La simulación puede definirse como la técnica de evaluación de los méritos de diferentes cursos de acción mediante la experimentación realizada con un modelo matemático. Cabe destacar en primer lugar que los estudios de simulación comienzan con la construcción de un modelo que reproduce los aspectos importantes de la situación real, y por lo tanto revela las relaciones funcionales entre las variables que se están investigando.

En segundo lugar, la frase "*mediante la experimentación realizada con un modelo matemático*" describe cómo se utiliza el modelo matemático en cualquier estudio de



simulación. El modelo en realidad sirve como medio de experimentación estadística, y es este procedimiento lo que distingue a la simulación de la optimización, pues en los estudios de optimización los modelos se resuelven analíticamente¹⁵. Por supuesto, es ideal que pudiéramos deducir fácilmente soluciones analíticas de todos nuestros modelos; lamentablemente a veces es imposible, pues un problema puede ser tan complejo que carezca de solución analítica, o que su solución sea por demás onerosa.

Pasos de la Simulación

Dado su valor como instrumento de la decisión, se describen con detalle los distintos pasos implicados en el planeamiento y la realización de un estudio de simulación.

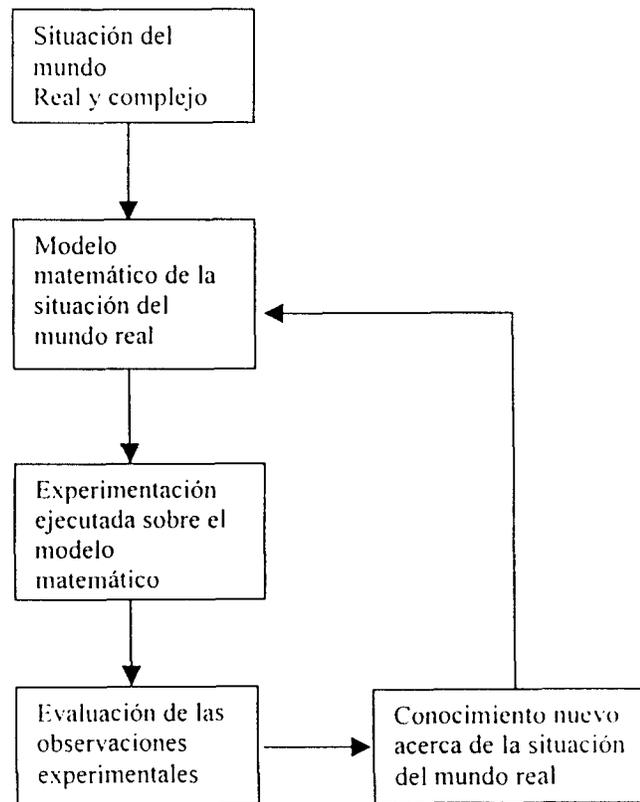


Figura 3 Planeamiento y realización de un estudio de simulación

En el gráfico anterior se delinear claramente tres pasos distintos:

- ◆ Construcción del modelo matemático
- ◆ Experimentación realizada con el modelo
- ◆ Evaluación de las observaciones experimentales

¹⁵ Nota del autor: resolver analíticamente significa manipular algebraicamente la o las ecuaciones que conforman el modelo para obtener el conjunto solución. Al evaluar el modelo bajo el conjunto solución se obtiene el resultado óptimo.

En el caso de la simulación el modelo se evalúa tantas veces como se considere necesario para obtener posibles resultados

Describiremos cada uno de estos pasos, asignando particular importancia al tipo de problemas que probablemente afrontaran los gerentes que utilizan la simulación como instrumento de decisión.

La construcción del modelo,

Es el paso más importante de cualquier estudio de simulación; el modelo debe ser tal que por su sencillez facilite la experimentación, pero que tenga complejidad suficiente para reflejar los aspectos importantes de una situación dada. Es necesario aclarar que un modelo de este carácter puede construirse únicamente si el analista financiero sabe exactamente lo que desea mediante el experimento de simulación. De donde, un prerrequisito de la construcción del modelo es una definición clara de objetivos específicos. Cuando se han definido los objetivos del experimento de simulación el ejecutivo financiero puede seleccionar las variables presentes en la situación empresarial concreta que gravitan directamente sobre el experimento. Por ejemplo si el propósito es determinar el saldo óptimo de caja, los principales factores que deben considerarse son los ingresos de fondos, los desembolsos, el costo de oportunidad del mantenimiento de saldos de caja, la pena impuesta a la escasez de fondos, y si es posible ciertos elementos de la actitud de la administración frente al riesgo de insolvencia de fondos. Por lo tanto, la lista de variables principales depende directamente del objetivo que persiga la simulación.

Una vez compilada la lista de variables se las reúne mediante un sistema de relaciones. Algunas de las relaciones del sistema serán económicas, y será posible comprobar su validez. Otras relaciones del sistema serán las identidades de contabilidad que son válidas por definición. Un ejemplo del primer tipo de relación es la que existe entre el volumen de ventas, el descuento de caja y el importe de las cuentas a cobrar pendientes. Un ejemplo del segundo tipo de relación es la identidad de contabilidad respecto a inventarios.¹⁶ Debe observarse que como los estudios de simulación financiera se realizan con el fin de evaluar distintos cursos de acción, el ejecutivo debe construir su modelo de tal manera que puedan separarse fácilmente las variables controlables e incontrolables. El hecho que la simulación en si pueda revelar diferentes alternativas que no fueron consideradas antes determina que esta técnica sea tanto más importante.

Como el mundo real se caracteriza por la incertidumbre, las variables de estudio de simulación se conciben a veces no como constantes, sino como variables aleatorias. Sin embargo, para conservar la sencillez del modelo debe conferirse aleatoriedad solo a las variables consideradas fundamentales. En general, no debe llevarse muy lejos el realismo de la construcción del modelo. La construcción de un modelo excesivamente realista no solo es difícil sino también oneroso. Los detalles innecesarios en un modelo de simulación tienden a distraer a la administración de los aspectos más importantes.

¹⁶ $\text{Inventario final} = \text{inventario inicial} + \text{compras} - \text{retiros}$

La simulación como experimento estadístico.

La realización de un modelo de simulación que contiene variables aleatorias exige la generación de observaciones aleatorias a partir de las distribuciones de probabilidad que caracterizan a estas variables. Así por ejemplo, en un modelo matemático cuyo propósito es simular las fluctuaciones del saldo de caja de una empresa; si el volumen de ventas es la fuente de estas fluctuaciones, necesitamos realizar observaciones aleatorias de las ventas para utilizarlas como *entrada* del experimento de simulación. Suponiendo que se conoce la distribución de probabilidad de las ventas, el procedimiento para producir observaciones aleatorias consiste en generar una secuencia de números aleatorios; posteriormente se utilizan los números aleatorios para inducir una secuencia correspondiente de ventas accidentales provenientes de la distribución conocida de probabilidad de ventas. Supongamos que se han obtenido un conjunto de cifras de las ventas accidentales; para cada cifra de ventas de este conjunto, el modelo matemático producirá una cifra correspondiente del egreso (o excedente) de fondos durante el periodo estudiado. Los siguientes flujos aleatorios de fondos permitirán que la administración evalúe el efecto de las fluctuaciones de las ventas sobre su posición de saldo de caja.

Evaluación del resultado experimental.

La simulación es un instrumento analítico útil porque suministra a la administración los datos necesarios para evaluar la *optimalidad* de las distintas decisiones. Esta evaluación presupone la existencia de un criterio claramente definido para medir el grado de optimalidad asociado con cada política. De lo anterior se deduce que el concepto de optimalidad es una función del criterio mediante el cual se evalúa cada resultado. Así, dos criterios diferentes para medir la optimalidad, aplicados a un conjunto dado de resultados experimentales, podrían determinar políticas distintas, cada una óptima en relación con su respectivo criterio.

Simulación del riesgo de insolvencia de fondos.

Para dar a entender de forma concreta esta metodología abordaremos el problema de la simulación del riesgo de insolvencia de fondos, para lo cual se utiliza el modelo probabilista de Gordon Donaldson.¹⁷ Este modelo parte de los supuestos de que *el valor de una empresa varía según el grado de apalancamiento financiero en su estructura de capital y, que la estructura de capital que maximiza el valor crea ciertos riesgos a firma*. Bajo estos supuestos, los riesgos asociados con cierta magnitud de apalancamiento incluyen no solo mayor variabilidad de los ingresos, sino también el riesgo de insolvencia de fondos.

Puede ocurrir que el riesgo implicado en la estructura de capital que maximiza el valor sea tan elevado que exija medidas de precaución; por lo tanto, la empresa debe evaluar independientemente el grado de riesgo sobre la base de la información más completa disponible. En particular este modelo se propone determinar la probabilidad de que el interés de una magnitud de deuda dada pueda imponer a una empresa

¹⁷ Idem cita 1 p.398, ref. Gordon Donaldson, *Corporate Debt Capacity* (Boston: Harvard Business School, 1961), Cap. 7 Apendice B

una situación de insolvencia de fondos en el caso de una recesión general. El enfoque básico consiste en formular pronósticos acerca de:

- 1) La intensidad y duración de las posibles disminuciones o aumentos en las deudas
- 2) La medida en que pueda prolongarse el periodo medio de recuperación de las cuentas exigibles.

Estos dos pronósticos suministran la base que permite inferir el comportamiento probable de los ingresos y egresos de fondos.

Como el propósito es determinar el riesgo de insolvencia de fondos, se concentra la atención únicamente en los egresos que deben afrontarse para garantizar la continuidad de la empresa, estos egresos deben incluir erogaciones imperativas como los gastos de intereses, las obligaciones impositivas y los gastos operativos de ventas y administrativos; y se excluyen las erogaciones discrecionales como los dividendos, la expansión de la planta y las adquisiciones.

Bajo el supuesto de que la deuda pendiente pueda reembolsarse al vencimiento, el saldo de caja al final del periodo, \underline{S} esta dado por la expresión:

$$\underline{S} = S_0 + \underline{R} - \underline{GV} - G - I - \underline{I}$$

Es decir, el saldo de caja final es igual al saldo de caja inicial, más las recuperaciones menos los gastos variables y fijos de fondos, menos los intereses y los impuestos.

Si se conoce la distribución conjunta de probabilidades de \underline{v} y $\underline{\Delta m}$, puede usarse la siguiente ecuación para calcular el riesgo de insolvencia de fondos, que es simplemente la probabilidad de que $\underline{S} < 0$

$$\underline{S} = S_0 + [vm + \underline{v}(n - m - \underline{\Delta m})] - c\underline{v}n - g_n - in - t[\underline{v}n(1 - c) - (gn + g'n + I)] \quad (1)$$

Donde:

\underline{S} = Saldo de caja al final del periodo

S_0 = Saldo de caja al comienzo del periodo

v = Ventas diarias antes del periodo

m = Periodo promedio de recaudación de las cuentas exigibles antes del periodo, medido en días

\underline{v} = Ventas diarias durante el periodo, todas a crédito

n = Duración del periodo, medido en días

$\underline{\Delta m}$ = Aumento del periodo medio de recuperación durante el periodo, medido en días

c = Índice constante entre los gastos variables de fondos y las ventas

g = Gastos fijos diarios de fondos durante el periodo (sin incluir los intereses)

g' = Gastos fijos diarios no en efectivo durante el periodo

i = Gastos diarios de intereses

t = Tasa impositiva sobre el ingreso neto de la empresa del periodo

Para ilustrar el modo de aplicación del modelo se utilizará un ejemplo numérico, en este ejemplo se supone que la empresa tiene un EBIT esperado de $\phi 75$, un valor máximo de $\phi 471.45$ si se la financia con una deuda de $\phi 197$, ventas diarias normales de $\phi 1$, un periodo normal de cobranza de 30 días, un índice de 0.3 entre los gastos

variables de fondos y las ventas, gastos fijos diarios de fondos de ϕ 0.40, gastos fijos diarios no en efectivo de ϕ 0.0417, y un saldo inicial de caja de ϕ 15. La administración desea saber si una deuda de ϕ 197, que maximiza el valor, supera la capacidad de deuda de la empresa. Más específicamente el problema es determinar si la empresa será incapaz de satisfacer las obligaciones representadas por el pago de intereses en caso de una recesión general.

La respuesta a este problema depende de los supuestos que uno formule acerca de la intensidad y la duración de las posibles disminuciones de las ventas, el efecto probable de una recesión sobre el movimiento de las cuentas exigibles, la magnitud del saldo de caja al comienzo de la recesión, y la importancia relativa de los gastos fijos y variables de la estructura de costos de la empresa

Durante la recesión se tienen las siguientes distribuciones de probabilidad

| | | | | |
|------------------|------|------|------|------|
| Ventas en ϕ | 0.80 | 0.70 | 0.60 | 0.50 |
| Probabilidades | 0.10 | 0.40 | 0.40 | 0.10 |

Cuadro 2.



Cuadro 3. Distribuciones de probabilidades condicionales para prolongaciones del periodo promedio de recuperación dado un nivel de ventas

| Prolongación | P(Prolong./ ϕ 80) | P(Prolong./ ϕ 70) | P(Prolong./ ϕ 60) | P(Prolong./ ϕ 50) |
|--------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 10 días | 0.5 | 0.4 | 0.1 | 0.1 |
| 20 días | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.2 |
| 30 días | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.2 |
| 40 días | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.5 |

Cuadro 4. Distribución conjunta de probabilidades de las ventas durante la recesión y ampliación del periodo de recuperación

| Ampliación del Periodo de Recaudación Ventas | Ampliación del Periodo de | | | | |
|--|---------------------------|---------|---------|---------|-------|
| | 10 Días | 20 Días | 30 Días | 40 Días | Total |
| 80 ϕ | 0.05 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.10 |
| 70 ϕ | 0.16 | 0.12 | 0.08 | 0.04 | 0.40 |
| 60 ϕ | 0.04 | 0.08 | 0.12 | 0.16 | 0.40 |
| 50 ϕ | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.05 | 0.10 |
| Total | 0.26 | 0.24 | 0.24 | 0.26 | 1.00 |

El primer paso de la simulación es generar observaciones aleatorias acerca del nivel de ventas durante la recesión, en concordancia con la distribución de probabilidad del cuadro 2. Este paso se da generando números aleatorios entre 0 y 1 bajo el siguiente criterio: cualquier número aleatorio entre 0.00 y 0.10 implica ventas diarias de 80 ctvs.; cualquier número aleatorio entre 0.50 y 0.89 significa ventas de 60 ctvs., como lo muestra el cuadro No. 5

Cuadro No. 5

| No aleatorio a | Ventas en ¢ |
|----------------------|----------------|
| $0.0 \leq a < 0.10$ | 0.80 |
| $0.10 \leq a < 0.50$ | 0.70 |
| $0.50 \leq a < 0.90$ | 0.60 |
| $0.90 \leq a < 1.00$ | 0.50 |

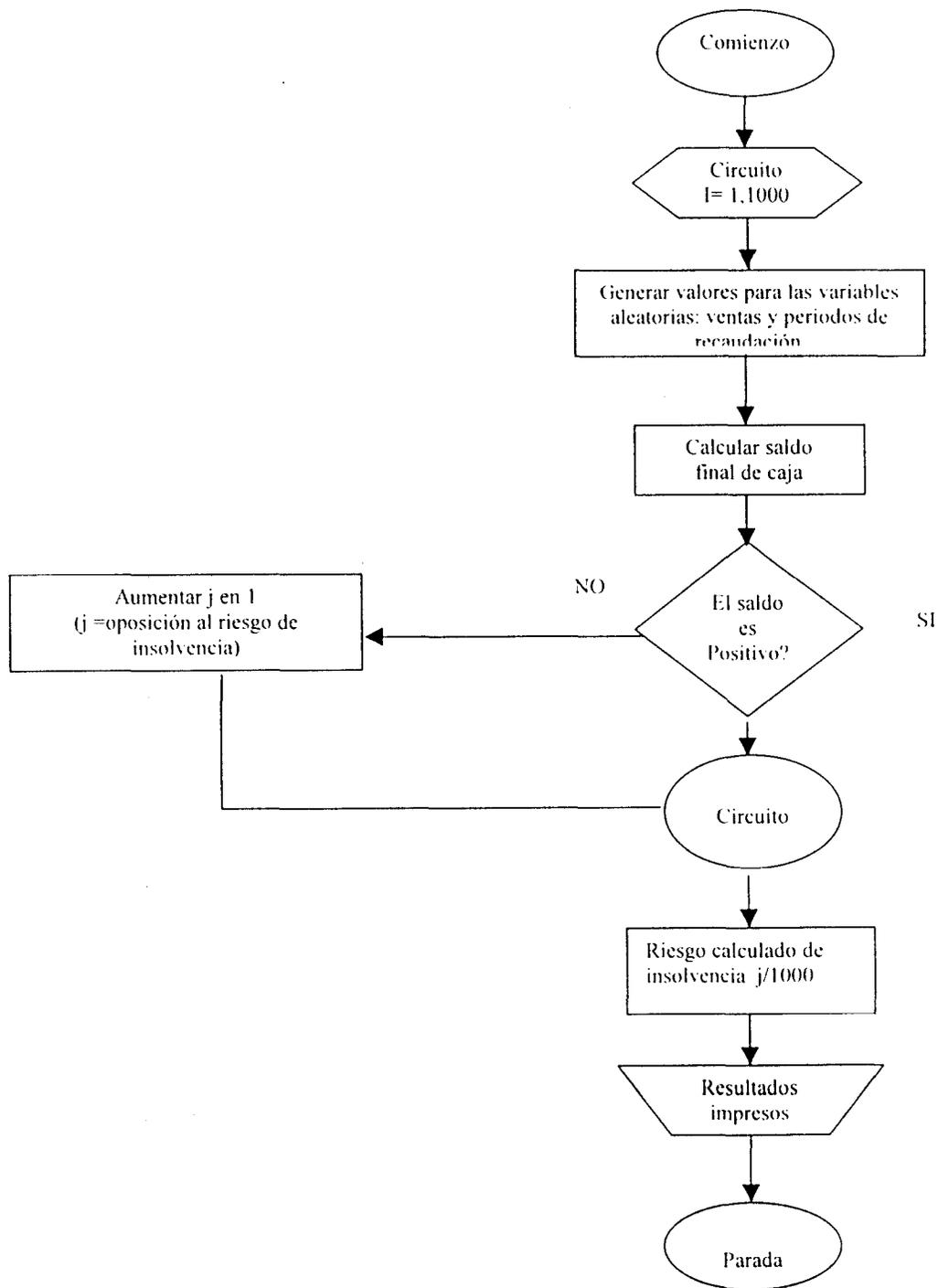
Para cada nivel de ventas observado, deben generarse números aleatorios en concordancia con las probabilidades asignadas como sigue:

| De ¢ 0.80 | | Ventas De ¢ 0.70 | |
|----------------------|--------------|----------------------|--------------|
| No aleatorio | Prolongación | No aleatorio | Prolongación |
| $0.00 \leq a < 0.50$ | 10 | $0.00 \leq a < 0.40$ | 10 |
| $0.50 \leq a < 0.70$ | 20 | $0.40 \leq a < 0.70$ | 20 |
| $0.70 \leq a < 0.90$ | 30 | $0.70 \leq a < 0.90$ | 30 |
| $0.90 \leq a < 1.00$ | 40 | $0.90 \leq a < 1.00$ | 40 |

| Ventas De ¢ 0.60 | | Ventas De ¢ 0.50 | |
|----------------------|--------------|----------------------|--------------|
| No aleatorio | Prolongación | No aleatorio | Prolongación |
| $0.00 \leq a < 0.10$ | 10 | $0.00 \leq a < 0.10$ | 10 |
| $0.10 \leq a < 0.30$ | 20 | $0.10 \leq a < 0.30$ | 20 |
| $0.30 \leq a < 0.60$ | 30 | $0.30 \leq a < 0.50$ | 30 |
| $0.60 \leq a < 1.00$ | 40 | $0.50 \leq a < 1.00$ | 40 |

La fórmula (1) nos permite calcular el saldo final de caja, \underline{S} , correspondiente a cualquier combinación del nivel de ventas y la duración del período de recuperación. Las secuencias repetidas de este experimento producirán una distribución del valor de \underline{S} . El riesgo de insolvencia es simplemente el porcentaje de las veces en que el valor de \underline{S} es menor que cero. Nuestro resultado, basado en 10,000 secuencias simuladas demuestra que si la firma soporta una recesión que dura 360 días, hay una probabilidad de 0.05 de que esta se quede sin fondos. A continuación se presenta una corrida de 50 días para efectos de ilustrar los resultados del experimento de simulación. Para hacer efectiva la simulación se desarrolló una aplicación en Foxpro for Windows. V2.60, la que permite realizar un análisis más completo, por ejemplo, hacer un análisis de sensibilidad del riesgo de insolvencia frente a las variaciones en la duración del período de recesión, el índice de los gastos variables de fondos con las ventas y la magnitud de la deuda inicial

ENFOQUE DE SIMULACION DE LAS DECISIONES



Ejemplo de corrida para 50 días simulados

| Día | No. Aleat/Venta | Venta | No. Aleat/Prolongación | Prolongación | Saldo de Caja |
|-----|-----------------|-------|------------------------|--------------|---------------|
| 31 | 8 | 0.80 | 29 | 10 | 40.56 |
| 28 | 1 | 0.80 | 61 | 20 | 32.56 |
| 45 | 19 | 0.70 | 18 | 10 | 31.96 |
| 41 | 26 | 0.70 | 24 | 10 | 31.96 |
| 37 | 40 | 0.70 | 18 | 10 | 31.96 |
| 26 | 38 | 0.70 | 37 | 10 | 31.96 |
| 24 | 10 | 0.70 | 37 | 10 | 31.96 |
| 23 | 38 | 0.70 | 37 | 10 | 31.96 |
| 22 | 39 | 0.70 | 35 | 10 | 31.96 |
| 16 | 28 | 0.70 | 21 | 10 | 31.96 |
| 13 | 40 | 0.70 | 37 | 10 | 31.96 |
| 11 | 33 | 0.70 | 24 | 10 | 31.96 |
| 9 | 38 | 0.70 | 20 | 10 | 31.96 |
| 8 | 13 | 0.70 | 29 | 10 | 31.96 |
| 5 | 24 | 0.70 | 11 | 10 | 31.96 |
| 50 | 24 | 0.70 | 65 | 20 | 24.96 |
| 27 | 30 | 0.70 | 63 | 20 | 24.96 |
| 48 | 4 | 0.80 | 78 | 30 | 24.56 |
| 44 | 62 | 0.60 | 7 | 10 | 23.36 |
| 4 | 83 | 0.60 | 7 | 10 | 23.36 |
| 34 | 42 | 0.70 | 89 | 30 | 17.96 |
| 30 | 24 | 0.70 | 79 | 30 | 17.96 |
| 15 | 20 | 0.70 | 80 | 30 | 17.96 |
| 40 | 73 | 0.60 | 23 | 20 | 17.36 |
| 32 | 80 | 0.60 | 30 | 20 | 17.36 |
| 17 | 88 | 0.60 | 25 | 20 | 17.36 |
| 2 | 55 | 0.60 | 14 | 20 | 17.36 |
| 36 | 5 | 0.80 | 92 | 40 | 16.56 |
| 43 | 62 | 0.60 | 60 | 30 | 11.36 |
| 29 | 89 | 0.60 | 50 | 30 | 11.36 |
| 21 | 51 | 0.60 | 59 | 30 | 11.36 |
| 20 | 61 | 0.60 | 43 | 30 | 11.36 |
| 19 | 64 | 0.60 | 43 | 30 | 11.36 |
| 18 | 88 | 0.60 | 47 | 30 | 11.36 |
| 14 | 82 | 0.60 | 45 | 30 | 11.36 |
| 7 | 55 | 0.60 | 40 | 30 | 11.36 |
| 6 | 76 | 0.60 | 58 | 30 | 11.36 |
| 49 | 93 | 0.50 | 26 | 20 | 9.76 |
| 47 | 94 | 0.50 | 17 | 20 | 9.76 |
| 3 | 90 | 0.50 | 28 | 20 | 9.76 |
| 39 | 80 | 0.60 | 80 | 40 | 5.36 |
| 38 | 80 | 0.60 | 95 | 40 | 5.36 |
| 35 | 69 | 0.60 | 65 | 40 | 5.36 |
| 25 | 72 | 0.60 | 71 | 40 | 5.36 |
| 12 | 67 | 0.60 | 86 | 40 | 5.36 |
| 10 | 57 | 0.60 | 67 | 40 | 5.36 |
| 46 | 92 | 0.50 | 99 | 40 | -0.24 |
| 42 | 95 | 0.50 | 55 | 40 | -0.24 |
| 33 | 94 | 0.50 | 81 | 40 | -0.24 |

BIBLIOGRAFIA GENERAL

David B. Hertz, "Investment Policies G. That Pay Off", *Harvard Business Review*, January – February, 1968

Toyota Motor's Manufacturing, USA Inc. "Process Flow Design Exercise", *Harvard Business Review*, May 24, 1996

David E. Bell, "Note on Simulation" *Harvard Business Review*, August 8, 1994

C. Philippatos, *Fundamentos de Administración Financiera, Texto y Casos* (Mc Graw-Hill, 1980)

Alexander A. Robichek, *Investigaciones y Decisiones Financieras y Administrativas* (LIMUSA, 1954)

Juan Prawda, *Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones* (LIMUSA, 1988)