

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Matemáticas

Escuela Académico Profesional de Investigación Operativa

Reformulación de los procesos de edición y diseño en una editorial mediante el análisis y simulación de sistemas

TESINA

Para optar el Título Profesional de Licenciada en Investigación Operativa

AUTOR

Rosa Angélica HOYOS FALCÓN

ASESOR

Esther BERGER VIDAL

Lima, Perú

2009



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Hoyos, R. (2009). *Reformulación de los procesos de edición y diseño en una editorial mediante el análisis y simulación de sistemas*. Tesina para optar el título profesional de Licenciada en Investigación Operativa. Escuela Académico Profesional de Investigación Operativa, Facultad de Ciencias Matemáticas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

HOYOS FALCÓN, ROSA ANGÉLICA

Reformulación de los Procesos de Edición y Diseño en una Editorial Mediante el Análisis y Simulación de Sistemas (Lima) 2009.

Cap. vi, 141 p., 29.7 cm, (UNMSM, Licenciado en Investigación Operativa, 2009).

Tesina, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas. Investigación Operativa.

i. UNMSM / FdeCM ii. Título (Serie).

A mi madre y mi hermano, quienes siempre me apoyaron, cuidaron, orientaron, alentaron y creyeron en mí incluso en las más duras adversidades

A mi padre, quien siempre fue la luz que iluminó mi camino, a pesar de ya no estar entre nosotros

RESUMEN

REFORMULACIÓN DE LOS PROCESOS DE EDICIÓN Y DISEÑO EN UNA EDITORIAL MEDIANTE EL ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS

ROSA ANGÉLICA HOYOS FALCÓN

DICIEMBRE – 2009

Orientadora: Mg. Esther Berger Vidal
Título obtenido: Licenciado en Investigación de Operaciones y Sistemas

En el presente trabajo se realiza un análisis detallado, bajo el enfoque de sistemas, de los procesos de Edición y Diseño en el contexto del Proyecto de Edición 2010 – Office 2007, en la Editorial Informatik Service SAC., mediante el cual se producen textos de informática para la educación primaria y secundaria.

En principio se plantea el problema y la problemática actual, y se establecen los objetivos de la investigación. Luego se sientan las bases teóricas del estudio, se desarrolla el análisis del sistema y se formula la hipótesis de la investigación. Al finalizar el análisis se plantean algunas estrategias para dar solución al problema y se evalúan por medio de un análisis FODA, para formular un escenario alternativo al actual.

Finalmente se desarrollan los modelos de simulación del sistema actual y del sistema propuesto para evaluar los resultados de ambos, mediante un software comercial.

PALABRAS CLAVES: ANÁLISIS DE SISTEMAS
DISEÑO DE SISTEMAS
SIMULACIÓN DE SISTEMAS
OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS
FODA

ABSTRACT

REFORMULATION OF THE EDITION AND DESIGN PROCESSES OF A PUBLISHER COMPANY BY MEANS OF SYSTEMS ANALISYS AND SIMULATION

HOYOS FALCÓN, ROSA ANGÉLICA

DECEMBER – 2009

Orientation: Mg. Esther Berger Vidal
Professional Title obtained: Graduate on Operations Research and Systems

This work presents a detailed analysis, under the focus of systems, of the processes of Edition and Design into the Edition 2010 – Office 2007 Project, at the Informatik SAC. Publisher, by means of which books on informatics for elementary through high school are produced.

Firstly the problem and the actual problematic are posed, and the objectives of the investigation are set up. Then the theoretical bases of the study are established, the system analysis is made and the hypothesis of the investigation is formulated. At the end of the analysis some strategies for solving the problem are raised and evaluated by means of a SWOT analysis, to formulate an alternate scenario instead.

Finally, simulation models for the actual and the proposed systems are developed to evaluate the results of they both, with the aid of a commercial software.

KEYWORDS: SYSTEMS ANALYSIS
SYSTEMS DESIGN
SYSTEMS SIMULATION
PROCESS OPTIMIZATION
SWOT

ÍNDICE

Introducción ……. *xii*

CAPÍTULO I: ***El Problema de Investigación*** ……..…….... 1

1.1. Planteamiento del Problema ……..……..……. 1
1.2. Formulación del Problema ……..……. 2
1.3. Sistematización del Problema ……..…….. 3
1.4. Objetivos ……..……..…. 3
1.4.1. Objetivo General ……..……..……. 3
1.4.2. Objetivos Específicos ……..……..…. 3
1.5. Delimitación del Tema ……..……..……..…… 4
1.5.1. Justificación de la Investigación …….. 4
1.5.2. Limitaciones de la Investigación ……..…….. 4
1.5.3. Límites de la Investigación ……..…….. 4
1.6. Antecedentes ……..……. 5
1.6.1. Trabajos Precedentes ……..……..……. 6

CAPÍTULO II: ***Marco Teórico Conceptual*** ……..……..……..…… 9

2.1. Terminología Básica ……..……..……..……. 9
2.1.1. Diagrama de Causa-Efecto, Espina de Pescado o Ishikawa …… 9
2.1.2. FODA …… 9
2.1.3. Análisis FODA …… 10
2.2. Pruebas de Bondad de Ajuste ……..……..…… 11
2.2.1. Prueba Chi Cuadrado de Bondad de Ajuste …… 11
2.2.2. Prueba de Kolmogorov-Smirnov ……..……..……..…… 13

2.3. Simulación de Sistemas 14
2.3.1. Simulación 14
2.3.2. Terminología Básica 14
2.3.3. Simulación frente a soluciones analíticas 17
2.3.4. Uso y limitaciones de la simulación 19
2.3.5. Aplicaciones de la simulación 21
2.3.6. La simulación como proceso experimental 22
2.3.7. Metodología de un estudio de simulación 23
2.3.8. Tipos de simulación 26
2.4. Modelos de Simulación de Eventos Discretos 27
2.4.1. Entidades, entidades temporales y recursos 28
2.4.2. Atributos 28
2.4.3. Actividades 29
2.4.4. Eventos 29
2.4.5. Colas 30
2.4.6. Sistemas terminantes 31
2.4.7. Experimentos que no terminan. Estado estable 32
2.5. Simulación en computadora 33
2.5.1. Lenguajes de programación 34
2.5.2. Lenguajes de simulación 34
2.5.3. ¿Lenguajes de programación o lenguajes de simulación? 36
2.5.4. Software Comercial para Simulación 38
2.6. Diseño de Experimentos de Simulación 41
2.6.1. Variables de la simulación 41
2.6.2. Determinación del tamaño de muestra 43
2.6.3. Valores medios e intervalos de confianza para una variable de salida 44
2.6.4. Número de corridas para obtener un error dado con un cierto nivel de confianza 47
2.7. Proceso de Simulación 48
2.8. Hipótesis 51
2.9. Variables 51

CAPÍTULO III: ***El Sistema*** **……..……..……..……** 53

3.1. Análisis del Sistema de
Producción de libros de Informatik Service SAC. …… 53
3.1.1. Antecedentes …… 53
3.1.2. Misión …… 55
3.1.3. Visión …… 55
3.1.4. Objetivos Estratégicos ……..……..……..…… 55
3.1.5. Organigrama ……..……..……..…… 56
3.1.6. Diagrama de Flujo del Sistema
de Producción de libros de Informatik Service SAC. ……..……. 57
3.1.7. Esquema de trabajo del Sistema de
Producción de libros de Informatik Service SAC. …… 59
3.1.8. Diagrama de Causa-Efecto de los problemas del Sistema de
Producción de libros de Informatik Service SAC. …… 60
3.2. Análisis de los Procesos de Edición y Diseño ……..……..……..… 61
3.2.1. Descripción de los procesos de Edición y Diseño …… 61
3.2.2. Otros procesos ……..……..……..…… 64
3.2.3. Flujograma de los procesos de Edición y Diseño …… 66
3.2.4. Esquema de trabajo de los Procesos de Edición y Diseño …….. 68
3.2.5. Diagramas de Causa-Efecto de los
problemas en los Procesos de Edición y Diseño …… 72
3.2.6. Matriz FODA de los Procesos de Edición y Diseño …… 74
3.2.7. Costos de Producción de los procesos de Edición y Diseño …… 75
3.2.8. Tiempos de Producción en los procesos de Edición y Diseño …… 75
3.2.9. Cargas de trabajo en las Áreas de Edición y Diseño …… 77
3.2.10. Consecuencias del estado actual de los
subsistemas de Edición y Diseño …… 78
3.2.11. Estrategias para resolver el cuello de botella
originado en los procesos de Edición y Diseño …… 79

CAPÍTULO IV: ***Formulación del Escenario Alternativo*** **……..** 82

4.1. Estrategias Alternativas planteadas a partir del análisis FODA…… 82
4.1.1. Preselección de las estrategias alternativas …….. 82
4.1.2. Análisis y factibilidad de las estrategias preseleccionadas …… 83
4.2. Escenario alternativo …… 86
4.2.1. Formulación del Escenario alternativo …… 86
4.2.2. Flujograma del Escenario Alternativo …… 87

CAPÍTULO V: ***Evaluación del Escenario Alternativo …….*** 88

5.1. Modelo de Simulación del Sistema Actual de Edición y Diseño …… 88
5.1.1. Entidades permanentes, recursos o locaciones …… 88
5.1.2. Entidades temporales …… 88
5.1.3. Atributos …….. 89
5.1.4. Actividades …….. 90
5.1.5. Colas …….. 90
5.1.6. Flujos …….. 91
5.1.7. Implementación del modelo en ProModel …… 92
5.1.8. Diseño del Experimento …… 94
5.1.9. Resultados …… 96
5.2. Modelo de Simulación del Escenario Alternativo …… 98
5.2.1. Entidades permanentes, recursos o locaciones …… 98
5.2.2. Entidades temporales …… 98
5.2.3. Atributos …….. 99
5.2.4. Actividades …….. 100
5.2.5. Colas …….. 100
5.2.6. Flujos …….. 101
5.2.7. Implementación del modelo en ProModel …… 102
5.2.8. Diseño del Experimento …… 104
5.2.9. Resultados …… 106
5.3. Comparación e Interpretación de los Resultados …… 108

CAPÍTULO VI: ***Conclusiones y Recomendaciones ……*** 109

6.1. Conclusiones 109
6.2. Recomendaciones 109

BIBLIOGRAFÍA 111

GLOSARIO 113

ANEXOS 116

Anexo I: Tiempos de producción en el Área de Diseño 117

Anexo II: Pruebas de bondad de ajuste de las Distribuciones de Probabilidad de los tiempos de producción en el Área de Diseño 119

Anexo III: Ensayo y error del número de réplicas del Ejemplo 2.2 131

Anexo IV: Ensayo y error del número de réplicas para la simulación del Sistema actual 133

Anexo V: Ensayo y error del número de réplicas para la simulación del Escenario alternativo 139

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se desarrolla en base a la problemática de la editorial I&C Informatik Service SAC, quien inició su actividad en el rubro hace 9 años. Esta empresa surgió en el año 2000, desde entonces sus procesos fueron incrementándose a raíz de que sus ventas crecían exponencialmente.

La empresa se especializa en la impresión de libros de computación y robótica para los tres niveles de la educación básica: inicial, primaria y secundaria, así también desarrolla capacitaciones a docentes, implementa aulas virtuales para la complementación de los cursos de computación dictados en los colegios, provee de docentes calificados en la enseñanza de la informática a las instituciones educativas que lo solicita y expide certificaciones de los cursos que promueve a través del respaldo de la Universidad Católica Sedes Sapientiae.

El mundo de las editoriales está compuesto por complejos procesos de producción, en el caso de la editorial I&C Informatik Service SAC éstos presentan algunos problemas en cuanto a sus tiempos de inicio y término, ya que en algunos, como en el de diseño, a veces surgen retrasos y ello conduce a que los procesos siguientes empiecen con cierto retardo y se desarrolle la actividad productiva agotando por completo los tiempos programados, no dando lugar a holguras y por consiguiente, ajustando el periodo de producción de libros sin considerar eventualidades con respecto a la producción con maquinaria. A su vez, esta situación provoca un incremento considerable en los costos de producción, que bien podrían ser manejables mediante la adopción de medidas de desarrollo que posibiliten un control eficiente de los tiempos programados, sin exceder del presupuesto asignado.

La presente investigación constituye un aporte para minimizar las demoras y sobrecostos, con la ayuda de la simulación de sistemas, en los procesos de producción de los libros en proyectos futuros de la empresa.

En el CAPÍTULO I se hace el planteamiento del problema, formulándose además los objetivos, alcances y antecedentes de la investigación.

En el CAPÍTULO II se desarrolla el marco teórico conceptual que soportó los pasos dados en la ejecución de la investigación práctica. Éste se puede dividir en dos partes; en la primera parte se describe la terminología básica de la metodología a ser utilizada y se desarrolla la teoría del tratamiento estadístico de la información recopilada; en tanto que en la segunda parte se detallan aspectos teóricos y esenciales de la simulación de sistemas, desde su concepción y terminología básica hasta el diseño de experimentos de simulación. Asimismo, al final de este capítulo se presentan la hipótesis y las variables de la investigación.

En el CAPÍTULO III se realiza el análisis del sistema, partiendo del sistema de producción en su totalidad, hasta reducirse al subsistema objeto del presente estudio: procesos de Edición y Diseño. Además, se ilustra con mayor detalle la problemática actual del sistema y se plantea estrategias de contingencia frente al problema planteado en el Capítulo I.

En el CAPÍTULO IV, en base al análisis FODA de las estrategias planteadas en el capítulo anterior, se formula el escenario alternativo al sistema actual, con el que se espera solucionar el problema presentado previamente.

En el CAPÍTULO V se presenta el software de simulación a utilizarse (ProModel V.7.0) y se desarrollan los modelos de simulación del sistema actual y del escenario alternativo. Luego se presenta, evalúa y contrasta los resultados de la ejecución de cada modelo para la obtención del resultado final.

En el CAPÍTULO VI, se expone, finalmente, las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los procesos de producción de libros de nivel primaria y secundaria de la Editorial I&C Informatik Service SAC presentan algunos problemas, de los cuales el más importante es la demora en la edición y diseño. Ello conduce a mayores costos de producción y retrasa la ejecución de los procesos posteriores.

En estas dos áreas, Edición y Diseño, se presenta el cuello de botella de todo el sistema. Esto se produce por la falta de supervisión y control en las diferentes fases que componen estos procesos, así como por la falta de un manual de procedimientos para cada área. Esto último se hizo evidente cuando en el área de Edición se contrató nuevo personal para elaborar los libros de primaria y secundaria y, a causa de no tener una secuencia de procedimientos definidos, no se le capacitó adecuadamente, ya sea en cómo capturar las imágenes y qué términos y secuencias aplicar en los textos.

Esto ocasionó que los diseñadores tuvieran que realizar una gran cantidad de correcciones en las capturas y términos básicos de los textos, así también en la secuenciación de los temas de los libros, lo cual produjo la demora del trabajo y el incumplimiento de las fechas programadas. En consecuencia, el área de Edición debió realizar doble trabajo para resolver el problema.

Al fallar el proceso de edición, el área de diseño se demoró en la entrega de los encapsulados de los libros al área de preprensa.

Otra de las causas de la demora en la producción de libros se debe a que los dos únicos diseñadores profesionales, con el apoyo de una practicante, se

encargan igualmente de la elaboración de las carátulas, cajas y catálogos de los libros, además de los fotochecks para el personal y de las tarjetas de presentación para el área de ventas y para las gerencias de la empresa. Esta secuencia de fallas y demoras produjo finalmente que se requiriera un tiempo adicional para la realización y corrección de los libros. En consecuencia no se tenía una debida organización de tiempos y carga de trabajo en el área de diseño.

En el área de Edición no sólo se realizaron capturas de imágenes del libro y estructuraciones deficientes, sino que también existieron problemas técnicos, como la poca capacidad del disco duro de las computadoras de edición, que producían que el trabajo se realice con lentitud debido al mal funcionamiento de las computadoras; así también las máquinas adquirieron virus informáticos que obstaculizaron el trabajo. En resumen no existió una prevención o un plan de contingencias para fallas técnicas como las que se presentaron.

Es así que se plantea el problema de la falta de control eficiente de las tareas en las áreas de diseño y edición para evitar demoras en la producción de libros. La empresa requiere minimizar los tiempos de producción para cumplir con las fechas programadas y minimizar los costos de producción a través de una programación apropiada de las actividades de producción.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo se puede minimizar los costos y tiempos ocasionados por los posibles retrasos en la ejecución del proyecto de Edición 2010 – Office 2007, dado que en los procesos de edición y diseño ocurre un cuello de botella que ocasiona demoras en los procesos posteriores?

1.3. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿Cómo se puede realizar un control eficiente en las áreas de diseño y edición para que no existan demoras?

- ¿De qué manera se puede asegurar que la producción de libros en el área de Edición logre tener mayor dinamismo?

- ¿Cuáles serían las estrategias a ejecutar para que la ejecución de los procesos de edición y diseño no se realice con amplio retraso y por ende, tenga menores costos de `producción?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Minimizar el costo total, el tiempo total y el costo medio de producción por hora trabajada en los procesos de edición y diseño de libros de nivel primaria y secundaria.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar un análisis minucioso por cada etapa de los procesos de edición y diseño, para detectar las fallas que producen congestión en los procesos.

- Formular en base al análisis realizado, un escenario alternativo para solucionar el problema en cuestión.

- Implementar un modelo de simulación del proceso de producción de libros de nivel primaria y secundaria.

- Someter el escenario alternativo al modelo de simulación para optimizar los costos y tiempos de los procesos de Edición y Diseño.

1.5. DELIMITACIÓN DEL TEMA

1.5.1. Justificación de la Investigación

- Por medio de la presente investigación se pretende reformular los sistemas de edición y diseño, tal que los procesos se realicen a tiempo y se cumpla con la fecha de finalización del proyecto de producción de libros de la editorial Informatik.

- Este trabajo ayudará al desarrollo de posteriores análisis de casos similares al descrito en la investigación.

- Así también, los resultados servirán para minimizar los problemas en los proyectos posteriores de la editorial Informatik.

- Los resultados afectarán positivamente tanto a la empresa Informatik Service como a sus clientes.

1.5.2. Limitaciones de la Investigación

- La simulación presente en esta investigación, se ejecutó en el software Promodel V. 7.0.4.201, versión básica que sólo permite trabajar con una cantidad limitada de locaciones, entidades, atributos y recursos.

1.5.3. Límites de la Investigación

- Por limitaciones de tiempo no se ha analizado todo el sistema de producción de libros, habiéndose analizado dos áreas en las que se

presentaba el cuello de botella de todo el sistema. A estas áreas corresponden los procesos de edición y diseño.

- En el área de diseño prestan servicio dos diseñadores profesionales y una practicante, quien brinda permanente apoyo a los dos diseñadores. Debido a la escasez de los datos respecto a los tiempos en que suelen culminar las tareas que se le asignan, no ha sido posible considerar el aporte específico que la practicante ofrece al subsistema de diseño. No obstante, los tiempos en los que ella apoya a los diseñadores están inmersos en los tiempos de trabajo de los diseñadores.

- No ha sido posible recopilar datos sobre los costos de operación de los equipos para las áreas de edición y diseño, tales como mantenimiento, electricidad, entre otros, por lo que sólo se tomó en consideración como costo el salario de cada servidor de estas áreas.

1.6. ANTECEDENTES

I&C Informatik Service SAC se encarga de elaborar libros de Informática, así como de venderlos con ayuda de su equipo de vendedores, también denominados Administradores de Zona. Asimismo se encarga de realizar capacitaciones a profesores de distintos colegios de Lima y provincias, de colocar profesores en distintos colegios del país y ejecutar un proyecto de aulas virtuales, siendo este último un servicio que brinda la editorial a los colegios que lo soliciten o que requieran su propia aula virtual.

En el proyecto del año anterior los libros que se editaron tuvieron una alta demanda, sin embargo, sus procesos de producción tuvieron un retraso de 15 días en el proceso de Diseño lo cual provocó que los demás procesos se retrasaran.

En el proyecto actual se han vuelto a editar los libros en su totalidad en los niveles primaria y secundaria, debido a la actualización y renovación muy

dinámica de los programas computacionales. La editorial se encarga de que sus libros para primaria hagan uso de software libres, a los cuales las instituciones educativas puedan acceder sin necesidad de adquirir una licencia. En el caso del nivel inicial sólo se ha actualizado los textos y renovado un programa denominado Micromundos, ya que la versión anterior de Micromundos que se utilizaba requería de la adquisición de una licencia y ocasionaba un costo que los colegios no podían solventar; en cambio, la versión actual está soportada por un software libre. En este proyecto están ocurriendo diversos problemas para la producción, tales como retrasos en el diseño, mala organización en la edición, doble trabajo de edición, entre otros. Estos problemas traerán consigo un retraso en los procesos siguientes, es decir, en estas dos áreas ocurre lo que llamamos un "cuello de botella", que buscamos resolver.

1.6.1. Trabajos Precedentes

Tesis I: CONTROL DE CALIDAD APLICADO A SERVICIOS DE SALUD *Informe profesional para optar el titulo profesional de licenciada en Estadística.* *Autora*: Alicia Ruth Jiménez Carbajal *Fecha*: Enero-1997

Resumen: en el presente trabajo se hace una introducción al control de calidad en la atención a los pacientes que acceden al CMCR. Se realiza un seguimiento desde el momento que ingresa el paciente hasta que sale, descubriendo cuales son los errores de mayor incidencia. Se determina que el tiempo de espera es uno de los factores que mas repercuten en la calidad de atención. En base a una muestra aleatoria se realiza un estudio de dichos tiempos de espera detectando los orígenes del problema es decir los consultorios que ocasionan las demoras. Para finalizar, se plantean algunas sugerencias en base a los resultados obtenidos dejando abierta la posibilidad de continuar trabajando al respecto.

Tesis II: MEJORAMIENTO DE PROCESOS EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS MEDIANTE EL USO DE LA SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Tesis para optar el titulo profesional de licenciado en investigación de operaciones y sistemas

Autor: Marco Antonio Malaver Muñoz

Fecha: 2002

Formulación del problema: el constante aumento en el tiempo de solución de un proceso de insolvencia.

Objetivos generales

a. determinación conceptual y bajo un enfoque sistémico, del diagnostico de la situación actual del área bajo estudio.
b. Planteamiento de las alternativas técnicas que permitan mejorar el desarrollo de las actividades al interior del área bajo estudio.

Objetivos específicos

a. disminuir el tiempo de duración de un proceso de insolvencia.

Hipótesis: el mejoramiento del proceso determinará una disminución en el tiempo de solución de las solicitudes de insolvencia.

Tesis III: APLICACIÓN DE SIMULACIÓN DISCRETA PARA UN SISTEMA DE LOGÍSTICA MILITAR BASADO EN CASOS HISTÓRICOS DE LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL

Trabajo de Titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero Civil Industrial

Autor: David Andrés Muñoz Soto

Fecha: Concepción, 20 de Abril de 2009

Resumen: La generación de modelos ha ayudado al ser humano a mejorar el proceso de toma de decisiones al que se encuentra expuesto día a día. Durante la Segunda Guerra Mundial se desarrollaron una serie de modelos que a la larga contribuirían no sólo en el ámbito militar, sino que además en la

actualidad son ampliamente aplicados y estudiados en la sociedad civil. Una de las herramientas que sirvió como método de optimización y que posteriormente influyó sobre el desenlace final de la Segunda Guerra Mundial, fue la Investigación Operativa. Desde ese momento, se han desarrollado técnicas que permitan una modelación certera, en este sentido, la simulación ha sido una de las herramientas que más beneficios ha reportado, especialmente en ámbitos civiles. Dentro de las principales ventajas que presenta la simulación, es que permite analizar el sistema real bajo distintos escenarios y ver cómo sería el comportamiento de los indicadores de desempeño, expuesto a distintas condiciones propuestas. La simulación aun no siendo una herramienta optimizante, permite proponer mejoras que puedan estar cada vez más cercanas al óptimo.

En este trabajo de investigación, se utiliza la simulación discreta para la propuesta de modelos computacionales, que permitan dar soporte a distintos sistemas de logística militar bajo una serie de escenarios. La simulación discreta, permite reducir la alta incertidumbre existente ante diversos ambientes complejos que puedan presentarse en diferentes ámbitos.

Para finalizar esta investigación, se proponen tres modelos de logística militar, los que abarcan las áreas de abastecimiento de combustible, logística medica y logística de mantenimiento y recuperación. De este trabajo se concluye que la simulación discreta puede ser de gran ayuda al momento de evaluar el rendimiento de un determinado sistema de logística militar, sujeto a ciertas circunstancias y políticas adoptadas. Con motivos de realizar la simulación, para la modelación y posterior análisis de resultados, se utilizo el software Arena.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. TERMINOLOGÍA BÁSICA

2.1.1. Diagrama de Causa-Efecto, Espina de pescado o Ishikawa

El Diagrama de Causa-Efecto es llamado usualmente Diagrama de Ishikawa porque fue creado por Kaoru Ishikawa, experto en dirección de empresas interesado en mejorar el control de la calidad; también es llamado "Diagrama Espina de Pescado" por que su forma es similar al esqueleto de un pez: Está compuesto por un recuadro (**cabeza**), una línea principal (**columna vertebral**), y 4 o más líneas que apuntan a la línea principal. Estas últimas poseen a su vez dos o tres líneas inclinadas (**espinas**), y así sucesivamente (**espinas menores**), según sea necesario.

Los Diagramas de Causa-Efecto o Diagramas de Ishikawa, ayudan en el análisis de las causas reales y potenciales de un suceso o problema, y no solamente en las más obvias o simples.

2.1.2. FODA

Es una herramienta que sirve para analizar la situación competitiva de una organización, e incluso de una nación. Su principal función es detectar las relaciones entre las variables más importantes para así diseñar estrategias adecuadas, sobre la base del análisis del ambiente interno y externo que es inherente a cada organización.

Dentro de cada uno de los ambientes, *externo* e *interno*, se analizan las principales variables que lo afectan. En el *ambiente externo*, encontramos las *amenazas* que son todas las variables negativas que afectan directamente o indirectamente a la organización. También encontramos las *oportunidades* que nos señalan las *variables externas positivas* a la organización. Dentro del *ambiente interno* encontramos las *fortalezas* que *benefician* a la organización y las *debilidades*, aquellos factores que la empresa requiere potenciar.

La matriz FODA es una herramienta para el análisis de un sistema que posee, fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas. Mediante este análisis podemos resolver los problemas que se presenten en el sistema así como también preverlos.

2.1.3. Análisis FODA

FODA, es la sigla usada para referirse a esta herramienta analítica que permite trabajar con toda la información que se posee sobre una organización (sistema), útil para examinar las Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas.

Este tipo de análisis representa un esfuerzo para examinar la interacción entre las características particulares de un sistema y el entorno en el cual éste compite.

El análisis FODA debe enfocarse solamente hacia los factores claves para el éxito de un sistema. Debe resaltar las fortalezas y las debilidades diferenciales internas al compararlo de manera objetiva y realista con la competencia y con las oportunidades y amenazas claves del entorno.

Lo anterior significa que el análisis FODA consta de dos partes: una interna y otra externa:

1.- La parte interna tiene que ver con las fortalezas y las debilidades del sistema, aspectos sobre los cuales éste tiene algún grado de control.

2.- La parte externa mira las oportunidades que ofrece el entorno y las amenazas que debe enfrentar un sistema en el entorno seleccionado.

2.2. PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE

Se utilizan para verificar si los datos sobre algún fenómeno se aproximan a una distribución de probabilidad. Entre estas pruebas tenemos:

2.2.1. Prueba Chi-cuadrado de bondad de ajuste

El procedimiento para la prueba de hipótesis es el siguiente:

HIPÓTESIS:

H_0: La distribución de probabilidad teórica escogida representa en forma adecuada a la distribución de la muestra aleatoria de tamaño *n* extraída de la población en estudio.

H_1: La distribución de probabilidad teórica escogida no representa en forma adecuada a la distribución de la muestra aleatoria.

NIVEL DE SIGNIFICANCIA: α $(0 < \alpha < 1)$

ESTADÍGRAFO DE CONTRASTE: Cuando la hipótesis nula ***H_0*** es

verdadera, el número esperado de observaciones del tipo X_i, i =1, ..., k es:

$$E[X_i] = np_i = e_i \text{, } i = 1, \ldots, k$$

FRECUENCIA OBSERVADA: $n = \sum_{i=1}^{k} O_i$

FRECUENCIA ESPERADA: $n = \sum_{i=1}^{k} e_i$

Para la realización de la prueba de hipótesis se utiliza el estadígrafo de contraste:

$$\chi_c^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(O_i - e_i)^2}{e_i} < \chi_{(\phi)}^2$$

Donde el grado de libertad se obtiene de la siguiente forma:

a. $\phi = k - 1$ (k: número de categorías)

Cuando las frecuencias esperadas son calculadas sin hacer estimaciones de los parámetros poblacionales. Aquí k denota al número de categorías en que fue definida la característica de la población en estudio.

b. $\phi = k - 1 - r$ (r *:* parámetros poblacionales)

Cuando las frecuencias esperadas son calculadas estimando r parámetros poblacionales.

REGIÓN CRÍTICA: La región critica y aceptación de una prueba de tamaño α es:

$$C = \left\{ \chi_c^2 / \chi_c^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(O_i - np_i)^2}{np_i} > \chi_\alpha^2(\phi) \right\}$$

$$A = \left\{ \chi_c^2 / \chi_c^2 \leq \chi_\alpha^2(\phi) \right\}$$

Donde $\chi_\alpha^2(\phi)$ es el valor de la abscisa de la distribución Chi cuadrada para una probabilidad 1 – α con ϕ grados de libertad.

2.2.2. Prueba de Kolmogorov-Smirnov

Es más adecuada cuando la distribución de la probabilidad teórica propuesta bajo la hipótesis nula, es continua. En esta prueba se hace la comparación entra las funciones de distribución empírica de la muestra aleatoria y la distribución teórica propuesta bajo la hipótesis nula H_0.

PROCEDIMIENTO

Hipótesis:

H_0: La muestra aleatoria X_1, …, X_n procede de una población con función de distribución F(x) de tipo continuo.

H_1: La muestra aleatoria X_1, …, X_n no procede de una población con función de distribución F(x) de tipo continuo.

Nivel de significancia: α (0 < α < 1)

Estadígrafo de contraste:

$$D_n = \max_{-\infty < x < \infty} \left| F_n(x) - F(x) \right|$$

Donde *n* es el tamaño de la muestra aleatoria.

Región crítica: Para una prueba de tamaño α, la región crítica y de aceptación viene dada por:

$$C = \{D_n / D_n > D_\alpha(n)\}$$

$$A = \{D_n / D_n < D_\alpha(n)\}$$

Donde $D_\alpha(n)$ es el límite aceptable para la prueba de Kolmogorov-Smirnov, para un tamaño de muestra *n* y un determinado nivel de riesgo α.

2.3. SIMULACIÓN DE SISTEMAS

2.3.1. Simulación

"Simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con el mismo, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o de evaluar nuevas estrategias – dentro de los límites impuestos por un criterio o conjunto de ellos –, para el funcionamiento del sistema". [11]

2.3.2. Terminología Básica

A continuación, se presenta la terminología y conceptos básicos usados en simulación. En la mayor parte de los estudios de simulación nos ocupamos de la simulación de algún sistema. Así, para modelar un sistema, debemos comprender el concepto de sistema. Schmidt y Taylor [10] establecieron la siguiente definición:

Definición 2.1. *"Un sistema es un **conjunto** de entidades que actúan e interactúan para la realización de un fin lógico"*.

Sin embargo, en la práctica esta definición tiende por lo general a ser más flexible. La descripción exacta del sistema normalmente depende de los objetivos del estudio de simulación. Por ejemplo, lo que puede ser un sistema para un estudio particular, puede ser sólo un subconjunto del sistema general para otro.

Los sistemas tienden en general a ser dinámicos, es decir, su *estado* varía en el tiempo. Para describir esto usamos el concepto de estado de un sistema.

Definición 2.2. El *estado* de un sistema es el conjunto de variables necesarias para describir la condición del sistema en un momento determinado.

Como ejemplo de un sistema, presentaremos una agencia bancaria. En este caso, el sistema consiste en los empleados y los clientes que esperan en una fila o cola y los que están siendo atendidos. Si definimos el *estado de este* sistema por el *número de clientes que hay en el sistema en un momento determinado,* a medida que llegan o se van los clientes, cambia el estado del sistema. Para describir este cambio de estado se necesita un conjunto de variables, llamadas *variables de estado,* por ejemplo, el número de empleados ocupados, el número de clientes en el banco, el tiempo de llegada del próximo cliente y el tiempo de salida de los clientes en el servicio describen entre sí todo cambio posible en el estado de la agencia bancaria. Así, esas variables podrían emplearse como variables de estado para este sistema.

Los sistemas se pueden clasificar como *discretos o continuos*.

Definición 2.3. Un *sistema discreto o sistema de eventos discretos* es aquél en el cual las *variables de estado* cambian sólo en puntos discretos o contables en el tiempo.

Una agencia bancaria es un ejemplo de sistema discreto, ya que las variables de estado cambian sólo cuando llega un cliente, o cuando un cliente termina sus trámites y se va. Estos cambios tienen lugar en puntos discretos en el tiempo.

Definición 2.4. Un *sistema continuo o sistema de procesos continuos* es aquél en el que las variables de estado cambian en forma continua a través del tiempo.

Un proceso químico es un ejemplo de un proceso continuo. En este caso, el estado del sistema varía continuamente a través del tiempo. Estos sistemas se modelan en general mediante ecuaciones diferenciales.

Existen dos *tipos de modelos de simulación: estáticos y dinámicos*.

Definición 2.5. Un *modelo estático de simulación* o simplemente una *simulación estática* es una representación de un sistema en un determinado punto en el tiempo.

Definición 2.6. (*Simulación dinámica*) Una **simulación dinámica** es una representación de cómo evoluciona un sistema a través del tiempo.

Dentro de estas clasificaciones, un modelo de simulación puede ser determinista o estocástico.

Definición 2.7 Un *modelo determinista de simulación*, es aquél que no contiene variables aleatorias en su formulación.

Definición 2.8 Un *modelo estocástico de simulación* es aquél que contiene una o más variables aleatorias en su formulación.

Los modelos discretos y continuos de simulación son semejantes a los sistemas discretos y continuos, sin embargo un sistema continuo puede representarse por simplificación mediante un modelo discreto. Los modelos estocásticos discretos son comúnmente denominados *modelos de simulación de eventos discretos*.

2.3.3. Simulación frente a soluciones analíticas

Inicialmente el uso de las ecuaciones y sistemas de ecuaciones diferenciales, han sido las herramientas más usadas para modelar sistemas. Para resolverlas, se han reducido muchas veces a sistemas lineales, siendo el álgebra vectorial, el análisis funcional y la teoría general de operadores herramientas útiles que con ciertas condiciones simplificadoras, se han mostrado eficaces en el estudio de la física, economía, biología, sociología, etc. Pero, ya en el siglo XIX estas herramientas matemáticas, base de toda la ciencia clásica, se mostraron insuficientes ante dos circunstancias que afectan al estudio de los sistemas: la incertidumbre y la imprecisión. Para la primera el Cálculo de Probabilidades y la Estadística con sus diversas ramas tales como Teoría de la Estimación y de los Procesos Aleatorios, los modelos de Previsión, el Análisis Multivariante, entre otras, han dado solución a muchos problemas, pero su correcta aplicación está sujeta a fuertes restricciones teóricas y prácticas.

La cada vez mayor complejidad de los problemas y el estudio de sistemas abiertos hacen que la formalización matemática clásica sea insuficiente. Así han surgido otras ramas y estrategias, procedente de la teoría de regulación automática (cibernética y robótica), la topología de redes, la algorítmica y las técnicas de la matemática

discreta, la programación matemática (lineal, cuadrática, dinámica) y todas aquellas técnicas que conforman la Investigación Operativa o Investigación de Operaciones: problemas de transporte, secuenciación óptima de actividades y tareas, la teoría de la decisión y de los juegos, la simulación, entre otros.

La realización de un estudio de simulación puede comportar un esfuerzo y un consumo de recursos no despreciable en cualquiera de sus fases: definición del problema, recopilación de información, construcción del modelo y programación del mismo, realización de los experimentos de simulación en computador, entre otros. Sistemas complejos pueden conducir a programas largos y complejos que requieran cantidades importantes de recursos computacionales.

Sin embargo la simulación, por sus características, y por los desarrollos computacionales que se han conseguido en los últimos años, sigue presentando una serie de ventajas que no sólo la convierten en el procedimiento más adecuado en muchos casos, sino que hacen que sea la única alternativa tecnológica en muchos otros. Esto resulta especialmente obvio en aquellos casos en los que las características del sistema que se pretenden estudiar hacen inviable, por razones físicas o de costos, la experimentación directa sobre el sistema. El mundo de la producción industrial, del tráfico, la aeronáutica, la industria del automóvil, entre otros, son claros ejemplos de esta situación. Incluso en aquellos casos en los que es posible la experimentación directa la simulación puede ofrecer ventajas tales como costos inferiores, tiempo, repeticiones y seguridad.

El modelado analítico de sistemas puede ser inviable cuando se quiere introducir sincronización en las acciones y reacciones entre partes del modelo, así como cuando se quieren introducir reglas o lógica del comportamiento.

Finalmente, es frecuente que los experimentos persigan el objetivo de determinar la respuesta del sistema en condiciones extremas, lo que puede resultar peligroso e incluso ilegal en la vida real.

Los modelos de simulación y los modelos analíticos no deben considerarse siempre como antagónicos, en muchos casos pueden jugar un papel complementario sirviendo la simulación para verificar la validez de las hipótesis para el modelo analítico, o el modelo analítico para sugerir cuáles son las alternativas razonables que hay que investigar en la simulación. (Ver Figura 2.1.).

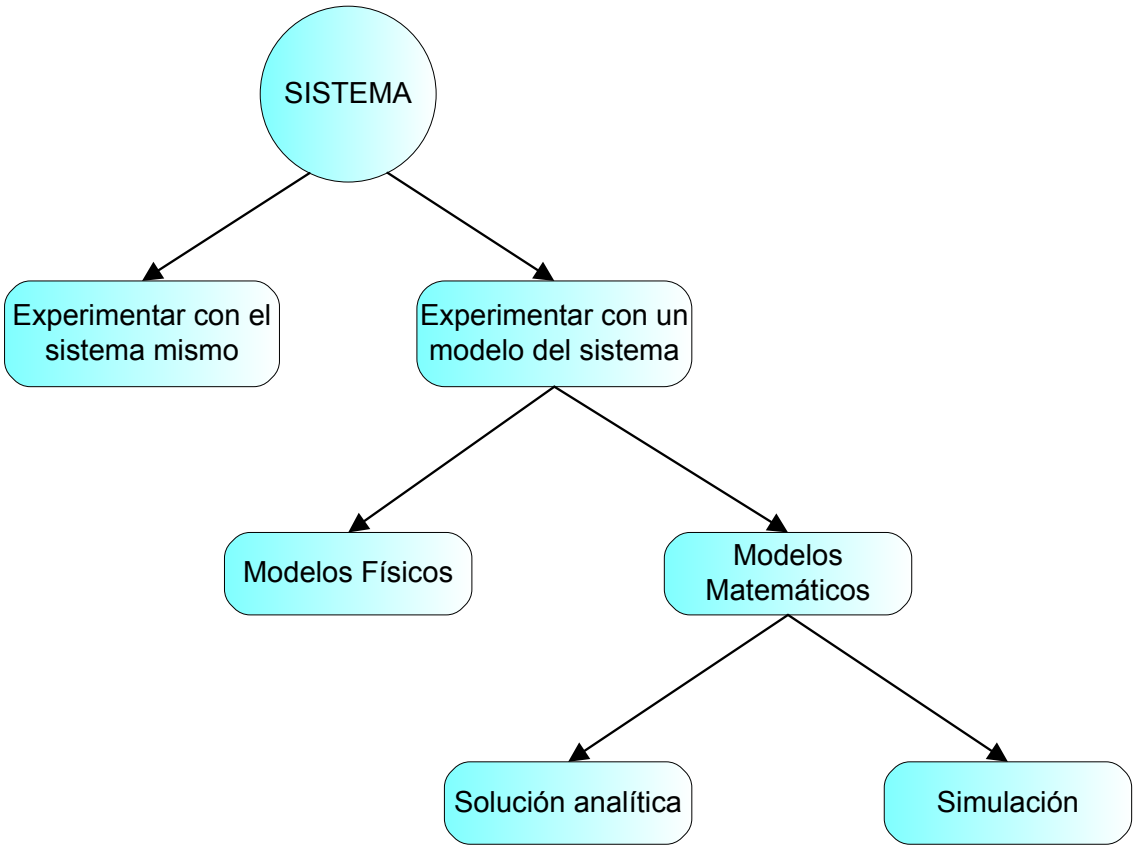


Figura 2.1. La simulación en el estudio de sistemas.

2.3.4. Uso y limitaciones de la simulación

La clave del éxito en un proyecto de simulación es muchas veces el saber cuándo podemos aplicar simulación para conseguir los

objetivos que nos hemos marcado en el momento de plantearse el estudio de un sistema.

La simulación es una técnica de resolución de problemas de forma experimental y su uso debe aplicarse en los siguientes supuestos:

1.- No existe una formulación matemática completa del problema o no se han desarrollado aún los métodos analíticos para resolver el modelo matemático.

2.- Existen los métodos analíticos, pero las hipótesis que los simplifican, necesarias para su aplicación, desvirtúan las soluciones obtenidas y su interpretación.

3.- Los métodos analíticos existen y en teoría están disponibles, pero los procedimientos numéricos son tan arduos y complejos que la simulación constituye un método más sencillo para obtener una solución.

4.- Es deseable observar una historia simulada del proceso dentro de un horizonte temporal dado para poder estimar ciertos parámetros.

5.- La simulación constituye la mejor alternativa por la dificultad de realizar experiencias en el contexto real.

Como limitaciones en la aplicación de la simulación en la resolución de problemas se pueden citar:

- La simulación es costosa en horas de desarrollo y de computador.

- Suele ser muy difícil la validación del modelo y de los resultados.

- La recopilación, análisis e interpretación de los resultados suele requerir personal con conocimientos estadísticos.

- La aceptación de los resultados requiere un elevado conocimiento del modelo empleado, por lo que es difícil su aceptación por personas no involucradas en el grupo que ha realizado la simulación.

2.3.5. Aplicaciones de la simulación

La simulación puede intervenir en cualquiera de las fases del ciclo de vida del sistema, tanto en la concepción del mismo, como en su diseño preliminar y consiguiente estudio de factibilidad, en el diseño detallado y en la fase de construcción para proceder a evaluaciones y asesoramientos, o en la fase de utilización y mantenimiento para poder evaluar escenarios alternativos y encontrar respuestas a preguntas del tipo ***"qué pasaría si"***.

Los modelos necesarios para la realización de los experimentos de simulación no se utilizan exclusivamente para predecir el comportamiento de sistemas reales, sino que pueden ser empleados en otro tipo de tareas.

Algunas de estas tareas son las siguientes:

DIAGNOSIS. El modelo se emplea como representación profunda del sistema, sobre el que es posible determinar las causas que generan una desviación respecto a un comportamiento teórico. En este tipo de aplicaciones es donde los modelos funcionales son especialmente importantes, dado que modelan directamente las funciones del sistema.

CONTROL BASADO EN MODELOS. El modelo se emplea para determinar las posibles acciones a realizar sobre el sistema que conducirían al mismo a una determinada situación. Los modelos causales son especialmente importantes para ello, dado que representan los mecanismos de propagación de efectos en el sistema modelado.

OPTIMIZACIÓN. El modelo se emplea para determinar situaciones del proceso en las que se logra una mejoría del rendimiento.

ENSEÑANZA. El modelo se utiliza para que una persona estudie el comportamiento del sistema al que modela. Este tipo de sistemas se han empleado en multitud de circunstancias.

2.3.6. La simulación como proceso experimental

La simulación de sistemas por computadora está basada en una generalización del concepto de experimentación del método científico, según el cual en lugar de realizar los experimentos sobre el sistema real, se realizan sobre un modelo dinámico que lo representa, de manera que si el modelo es una representación válida del sistema entonces los resultados de la experimentación con el modelo pueden transferirse al propio sistema.

METODOLOGÍA: Plantea la comprensión de un fenómeno o de un problema a través del proceso de construcción de un modelo de simulación por computadora, que representa el grado de conocimiento que se tiene del sistema en el momento de la construcción del modelo que lo representa.

El modelo se debe entender como un instrumento de investigación sometido a revisión continua para conseguir un refinamiento progresivo en la comprensión del sistema.(Ver Figura 2.2).



Figura 2.2. Esquema del proceso experimental de la simulación.

TÉCNICA: Puede admitir la correspondencia entre el sistema real y el modelo de simulación que lo representa. La técnica permite que el modelo esté construido a la medida del sistema simulado.

La simulación y los experimentos de simulación son una herramienta de análisis de sistemas que responden a preguntas del tipo ***"¿qué pasaría si?"***. La simulación con computador es por lo tanto una técnica en la que el investigador construye un modelo del sistema y realiza experimentos en una computadora sobre el modelo, interpretando los resultados en términos del comportamiento del sistema objeto del estudio.

2.3.7. Metodología de un estudio de simulación

El proceso no es, en general, secuencial, sino iterativo, según se refleja en la Figura 2.4, en donde algunos pasos pueden tener que repetirse en función de los resultados intermedios.

En resumen de lo que se trata es de tener claros los objetivos frente al modelado de un sistema. Debemos pues tener clara la metodología de aplicación a la simulación de un proceso frente a la metodología que se aplica a un análisis o a un diseño de un sistema:

a) ***ANALIZAR:*** Se comienza estudiando las funciones desarrolladas y la evolución seguida por el sistema, observadas en un entorno, de manera que, interpretándolas a la luz de unos objetivos, conocidos o supuestos, sea posible

inducir una estructura compatible con lo observado. Este análisis sistémico es diferente de la acepción clásica del término análisis, que hace más bien referencia al proceso de disección de un objeto real en sus partes, y en el mejor de los casos, de las relaciones entre ellas.

b) ***SIMULACIÓN:*** Se parte de una estructura obtenida previamente por análisis o diseño. Se hace funcionar esta estructura y se observa su evolución en un entorno dado para comparar el resultado de este proceso con unos fines u objetivos prefijados.

c) ***DISEÑAR:*** Para diseñar un modelo el punto de partida es la identificación de los objetivos que han de alcanzarse en un entorno o condiciones prefijados. Para ello se propone o diseña una estructura que se hace funcionar y evolucionar para comparar los resultados y el estado final de la evolución sufrida por el objeto modelado con los objetivos propuestos. La medida de esta comparación se conoce como la fiabilidad del diseño.

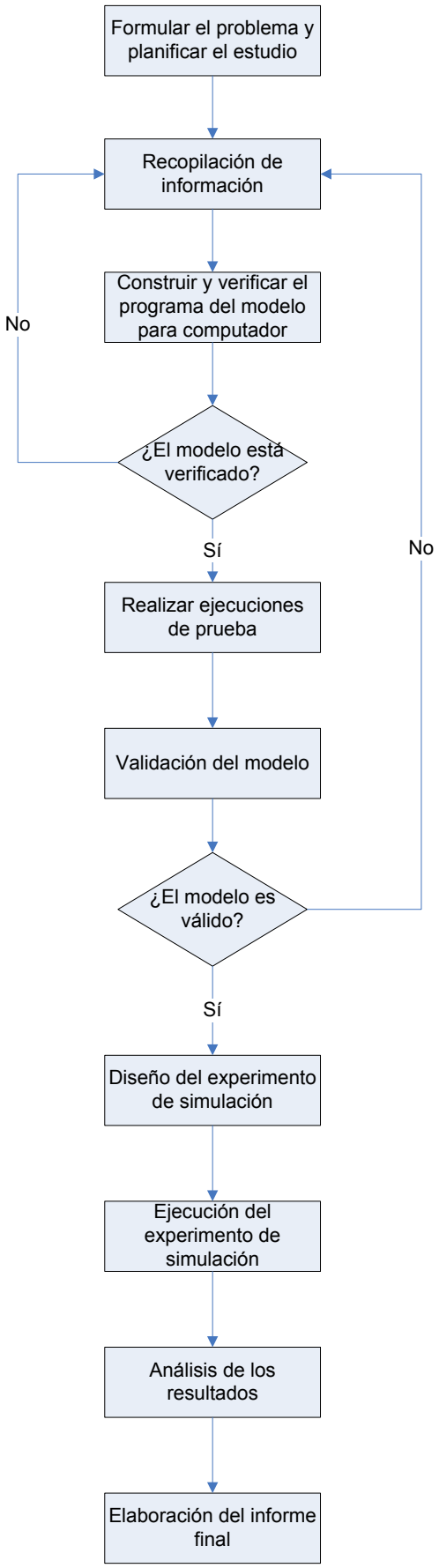


Figura 2.3. Etapas de un estudio de simulación.

2.3.8. Tipos de simulación

Según Hoeger [3], en función de la naturaleza de los sistemas a simular, las técnicas de simulación convencional se dividen en cuatro grupos:

- Simulación de sistemas continuos.
- Simulación de sistemas de eventos discretos o por lotes.
- Simulación combinada o híbrida.

El criterio que se toma para establecer esta división es la distinta utilización de la variable que se emplea para el control de la simulación, el *tiempo*.

En la Figura 2.4 se muestra un diagrama de los distintos tipos de simulación existentes y su relación con el tiempo.

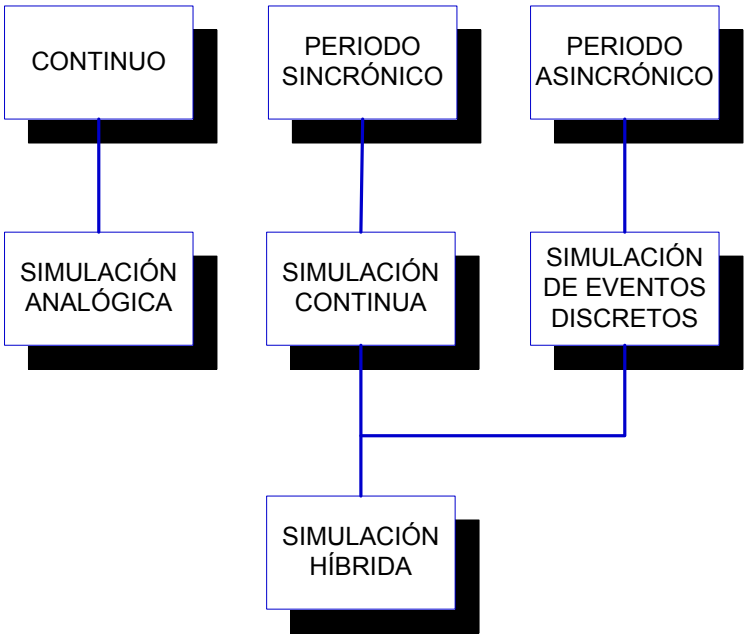


Figura 2.4. Tipos de simulación y su relación con el tiempo

El tiempo es intrínsecamente una variable continua; así, para realizar una simulación real de un proceso se debería manejar un tiempo que

variase de forma completamente continua, lo que únicamente es posible en la simulación analógica.

La primera aproximación para introducir el tiempo desde una simulación digital es tomar como reloj un contador con incrementos constantes, lo que produce un reloj síncrono.

Existe otra serie de procesos, denominados por lotes o de eventos discretos, en los cuales no se precisa de una evolución continua del tiempo, ya que las modificaciones que existen en el sistema a simular se producen cada ciertos intervalos de tiempo, siendo éstos de valor elevado y espaciados no uniformemente en el tiempo.

La simulación híbrida contempla procesos mixtos en los que existen subprocesos de tipo continuo, junto con subprocesos de eventos discretos.

2.4. MODELOS DE SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS

Los modelos de simulación de eventos discretos [2] son modelos dinámicos, estocásticos y discretos en los que las variables de estado cambian de valor en instantes no periódicos del tiempo sin estar dirigidos por un reloj. Estos instantes de tiempo se corresponden con la ocurrencia de un evento, por tanto, un evento se define como una acción instantánea que puede cambiar el estado del modelo.

Los elementos de los modelos de simulación de eventos discretos son los siguientes:

2.4.1. Entidades, entidades temporales y recursos

Las *entidades* son el conjunto de componentes del sistema, tales como máquinas, piezas, equipos de transporte o clientes. Las entidades se pueden agrupar en dos tipos:

- ***RECURSOS O ENTIDADES PERMANENTES:*** tal y como su nombre indica, su principal característica es que son elementos estáticos en cuanto que su número no aumenta ni disminuye a lo largo de la simulación. En general suelen utilizarse para describir los medios gracias a los cuales se pueden ejecutar las actividades. Los recursos definen quién o qué ejecuta la actividad, y suelen parametrizarse por características tales como capacidad, velocidad o tiempo de ciclo. Ejemplos de recursos son las máquinas, los elementos de transporte o los operadores.

- ***ENTIDADES TEMPORALES:*** su principal característica es que se crean y destruyen a lo largo de la simulación. En general suelen utilizarse para describir los objetos que se procesan en el sistema, como por ejemplo las piezas, los clientes o los documentos. Las entidades temporales son los objetos que llegan, se procesan y salen del sistema. En la bibliografía, a menudo se emplea el concepto de entidad para referenciar sólo a las entidades temporales, en este trabajo se decidió utilizar un concepto más amplio dado que también se incluye los recursos para mantener la coherencia con los múltiples formalismos empleados.

2.4.2. Atributos

Los atributos permiten caracterizar a las entidades; cada atributo corresponde a una propiedad, por ejemplo, precio, prioridad, tamaño,

así como toda aquella información que fluye en el sistema junto con las entidades temporales; posición donde se encuentra la pieza, resultados de los controles de calidad. Los atributos son imprescindibles para el control del flujo de entidades en el sistema, así como también para la extracción de entidades de una cola, por ejemplo, la extracción se puede hacer por orden del atributo prioridad.

2.4.3. Actividades

Las actividades son las tareas o acciones que tienen lugar en el sistema. Casi todas las actividades involucran a más de un tipo de entidad y, por tanto, el inicio de la actividad está condicionado a la presencia de todos los tipos de entidades involucrados. Un aspecto esencial de las actividades es su duración, la cual, a pesar de no ser un valor constante, tiene que ser conocida para que el simulador pueda determinar el instante en el cual la actividad finalizará. Nótese que en el caso de actividades cuya duración no es constante, el instante de tiempo de finalización de la actividad puede determinarse a partir de la distribución de probabilidad que modela la duración prevista. Ejemplos de actividades son la reparación de una máquina, el procesado de una pieza o el transporte de un cliente.

2.4.4. Eventos

En los modelos de eventos discretos las variables de estado, es decir, toda la información asociada al sistema necesaria para evaluar su comportamiento, tan sólo pueden cambiar de valor en instantes de tiempo ligados a la aparición de un evento. Por lo tanto, un evento se puede definir como una acción instantánea, que no consume tiempo, y que puede cambiar el valor de una variable de estado del sistema modelado.

Normalmente, más de una actividad se inicia o finaliza con cada evento. Una primera clasificación nos permite diferenciar dos tipos de eventos:

- ***EVENTOS CONDICIONADOS:*** para que se activen es necesario una o más condiciones.

- ***EVENTOS NO CONDICIONADOS:*** son eventos que están planificados para su ejecución y que no dependen de condiciones.

Los eventos también se pueden clasificar en:

- ***EVENTOS ENDÓGENOS O INTERNOS:*** son eventos causados por condiciones en el modelo, por ejemplo, la finalización de una operación.

- ***EVENTOS EXÓGENOS O EXTERNOS:*** son eventos externos al modelo, como por ejemplo la llegada de una pieza al modelo.

Es muy importante remarcar que tanto el estado global del modelo, como el estado de cada una de sus entidades y sus respectivos atributos, tan sólo pueden cambiar con la presencia de eventos. Esta característica es la que permite a los simuladores avanzar el tiempo de simulación y gestionar los eventos de tal modo que la evolución de los valores de las variables de estado describa el comportamiento del sistema en estudio.

2.4.5. Colas

Estas estructuras quedan determinadas a partir de una colección de entidades – en general, entidades temporales –, ordenadas de una forma lógica. Por ejemplo, clientes en una cola ordenados bajo una

disciplina FIFO. Las entidades que están en las colas sufren un retardo de duración indeterminada.

2.4.6. Sistemas terminantes

En algunos sistemas, el tiempo de un proceso depende de propiedades diversas del sistema simulado. A éstos se les llama *sistemas terminantes o terminales*. En la simulación de sistemas terminantes, el tiempo de simulación es normalmente establecido en el periodo natural de duración del proceso. Éste puede estar definido por un punto particular en el tiempo o por la ocurrencia de un evento determinado.

En un banco, la duración de la operación y la corrida del modelo correspondiente, viene dada por el tiempo de apertura y el de clausura del banco. O, para ser más precisos, el tiempo entre el arribo del primer cliente y la culminación del servicio al último cliente, que puede ocurrir antes o después del cierre del banco.

En la simulación de un juego entre 2 jugadores, la corrida termina cuando uno de ellos se retira o se queda sin dinero o agota su crédito.

En algunos casos, como en el del banco, el proceso, desde el principio hasta el final, puede ser replicado exactamente. Pero también es posible asumir que, en la simulación, las repeticiones son procesos independientes.

A la simulación de sistemas terminantes se le denomina ***SIMULACIÓN TERMINAL O TERMINANTE***.

Algunos sistemas trabajan sin parar. Esos sistemas que no terminan pueden tener entradas o parámetros constantes, periódicos o estocásticos o incluso, caóticos.

En un puerto con mucho tráfico, la tasa de entrada de las naves cambia muy poco de tiempo en tiempo. En un semáforo, la llegada de los vehículos tiene algunas fluctuaciones a lo largo del día. Ambos sistemas trabajan sin parar.

En los sistemas económicos y ecológicos se suele considerar un ciclo de producción anual. En estos casos, aún cuando las interacciones puedan ser las mismas cada año, lo que significa que el mismo algoritmo puede ser usado en el modelo de cada año, las condiciones iniciales son diferentes, algunas veces son las condiciones finales del periodo anterior.

La simulación de estos últimos sistemas, por otro lado, debe comenzar y terminar en ciertos instantes. Así surge el problema de saber cuánto tiempo debe correr la simulación para que produzca una representación útil de la conducta del sistema modelado. En el siguiente inciso se aclaran algunas dudas sobre esta otra clase de sistemas en relación al grado de dependencia respecto al tiempo.

2.4.7. Experimentos que no terminan. Estado estable

Algunos sistemas no terminantes trabajan en una suerte de estado estable. La simulación de esos sistemas suele comenzar de condiciones que no corresponden a ese estado estable, porque, en general, las condiciones de estabilidad son desconocidas.

Si el modelo contiene las retroalimentaciones apropiadas, el estado estable se alcanzará luego de transcurrir un tiempo de conducta transitoria, valga la redundancia.

La conducta estable es la que, normalmente, interesa al analista. Así que el primer problema a enfrentar con este tipo de sistemas es cómo precisar cuándo termina el periodo transitorio y comienza el estable, pues sólo las estadísticas para el estado estable serían las que se considerarían.

Estos sistemas suelen ser analizados por métodos de series de tiempo, en los que el propósito general es hallar los parámetros para los que el sistema se vuelve estable y por ende, modelable y tratable.

A la simulación de sistemas no terminantes se le denomina ***SIMULACIÓN NO TERMINAL O NO TERMINANTE***.

2.5. SIMULACIÓN EN COMPUTADORA

La masiva utilización de la informática en la enseñanza y en el entorno industrial, la sorprendente y revolucionaria evolución de los ordenadores personales en cuanto a tamaño, costo, velocidad, software, etc., han ayudado sin lugar a dudas a que la simulación digital o simulación en computador sea hoy en día la herramienta más utilizada para realizar experimentos de simulación de sistemas. Un programa de simulación en computadora se puede definir como una secuencia de instrucciones que el usuario define para resolver un problema que puede estar plasmado en unas ecuaciones que describen a un sistema que previamente hemos modelado mediante dichas ecuaciones.

La característica más destacable de la simulación es la posibilidad de estudiar la evolución dinámica de los sistemas a lo largo del tiempo.

Hoy en día se abre ante el interesado un amplio abanico de posibilidades para resolver estos problemas y para programar estas operaciones necesarias para realizar la simulación. El abanico corresponde a los distintos lenguajes que podemos utilizar para traducir nuestros modelos en una computadora y posteriormente resolverlos para obtener la simulación del comportamiento del sistema modelado. Podemos utilizar lenguajes de programación general, lenguajes específicos para simulación o paquetes de software de simulación especialmente preparados para la misma. A la hora de elegir una herramienta u otra hay que tener en cuenta en primer lugar la velocidad de ejecución de los programas y la utilización de recursos necesarios.

2.5.1. Lenguajes de programación

Hay distintos niveles de lenguajes, en el más bajo nivel se encuentra el lenguaje máquina cuyas instrucciones se escriben en la notación binaria que corresponden directamente con las funciones u operaciones elementales. Este lenguaje es sin duda el más tedioso y menos práctico de utilizar. En un nivel superior se encuentran el lenguaje ensamblador que utiliza símbolos (caracteres) mnemónicos para representar dichas funciones.

Los lenguajes de alto nivel o lenguajes de propósito general tales como C, C++, Fortran, Visual Basic, Cobol, Lisp, Algol, Pascal, etc., normalmente alejan al programador de las tareas de bajo nivel del computador y suelen ir apoyados en un conjunto de librerías que en el caso de la simulación facilitan mucho la tarea de modelar los sistemas y reducen normalmente el tiempo de ejecución del programa.

2.5.2. Lenguajes de simulación

Los lenguajes de simulación son similares a los lenguajes de programación de alto nivel pero están especialmente preparados

para determinadas aplicaciones de la simulación. Así suelen venir acompañados de una metodología de programación apoyada por un sistema de símbolos propios para la descripción del modelo, por ejemplo mediante diagramas de flujo u otras herramientas que simplifican notablemente el modelado y facilitan la posterior depuración del modelo.

Entre estos lenguajes específicos podemos nombrar los siguientes: MIDAS, DYSAC, DSL , GASP, MIMIC, DYNAMO, GPSS, SIMULA, CSSL (Continuous System Simulation Language), CSMP, ACSL (Advanced Continuous Simulation Language), DARE-P y DARE-Interactive, C-Simscript, SLAM, SIMAN, SIMNON, SIMSCRIPT-II-5, ADA, GASP IV, SDL, etc. Muchos de estos lenguajes dependen fuertemente de los lenguajes de propósito general como es el caso de Slam o Siman que dependen de Fortran para las subrutinas.

Otro concepto importante es el de la Simulación Visual Interactiva, que puede definirse como aquella que posibilita la creación gráfica de modelos de simulación, permite mostrar por pantalla dinámicamente el sistema simulado, así como la interacción entre el usuario y el programa en ejecución. La interacción implica que o bien se detiene la simulación y solicita información al usuario, o bien que éste puede parar la simulación a su voluntad e interaccionar con el mencionado programa; esto último se puede realizar *"off-line"* u *"on-line"*, es decir sin interrumpir la simulación e introduciendo las variaciones oportunas tanto en los modelos, como en los valores de las variables en el siguiente ciclo de scan del proceso de ejecución del programa en el computador que para esto debe tener una estructura multitarea que permita este tipo de operaciones. Algunos productos del mercado son: PROMODEL, ARENA, SIMULA, SIMFACTORY DE CACI Inc, WITNESS de ATT & Istel, o FACTOR/AIM de Pritsker Corporation, FIX DEMACS de Intellution (Fisher-Rosemount). Todos ellos son productos orientados primordialmente a la utilización de la simulación para la resolución de problemas en el ámbito de la

producción. Utilizables desde entorno Windows, y ejecutables sobre computadores personales o sobre plataformas más potentes como Workstations.

Permiten construir modelos complejos de manera incremental, a partir de la selección de las componentes del sistema de entre un repertorio limitado a la extensión de las librerías que contienen unas entidades predefinidas. Las últimas tendencias añaden a éstos, paquetes editores para crear nuevas plantillas con características a gusto del consumidor, introduciendo además utilidades de todo tipo, incluidas las gestiones de configuración y control de las comunicaciones con un sistema de control real al que se puede conectar el equipo.

2.5.3. ¿Lenguajes de programación o lenguajes de simulación?

Veamos las ventajas de programar el modelo de simulación en un lenguaje de simulación en vez de hacerlo en un lenguaje general como Visual C++, Visual Basic o FORTRAN:

1.- Los lenguajes de simulación proporcionan automáticamente las características necesarias para la programación de un modelo de simulación, lo que redunda en una reducción significativa del esfuerzo requerido para programar el modelo.

2.- Proporcionan un marco de trabajo natural para el uso de modelos de simulación. Los bloques básicos de construcción del lenguaje son mucho más afines a los propósitos de la simulación que los de un lenguaje de tipo general.

3.- Los modelos de simulación son mucho más fáciles de modificar.

4.- Muchos de ellos proporcionan una asignación dinámica de memoria durante la ejecución.

5.- Facilitan una mejor detección de los errores.

6.- Los paquetes de software especialmente diseñados para simulación contienen aplicaciones diversas que facilitan al simulador las tareas de comunicaciones, la depuración de errores sintácticos y de otro tipo de errores, la generación de escenarios, la manipulación “on-line” de los modelos, etc.

De todas formas, frente a la disyuntiva de tener que elegir uno u otro tipo de programación, lo primero a tener en cuenta es que la programación con un lenguaje de propósito general como C++, apoyado con librerías, permite afrontar problemas de la máxima complejidad y tamaño pudiendo ser el programa altamente portable. El mayor inconveniente de este tipo de programación se presenta al interpretar los mensajes de error del sistema de desarrollo, puesto que se requiere un alto grado de especialización en el desarrollo de software.

En el caso de utilizarse un lenguaje específico de simulación, la limitación está en que no permite desarrollar más allá de para lo que está pensado y diseñado el software, pero como contrapartida está que el usuario sólo precisa disponer de los conocimientos de programación relativos al producto.

Finalmente, los productos de modelamiento visual permiten realizar prototipos en tiempos récord siempre que los objetos a utilizar coincidan exactamente con los disponibles en el producto. En la medida que se requieran objetos específicos hay que recurrir a la

programación.

En los años sesenta se realizaban estudios de simulación cuyos costos se medían en años-hombre y su duración en meses. En los setenta aparecieron diversos lenguajes específicamente orientados a la simulación tales como SIMSCRIPT, etc. La década de los ochenta supuso la adaptación sobre PCs de productos ya existentes y la aparición de nuevos productos como SIMAN. Los noventa protagonizaron una auténtica explosión de nuevos productos de manejo más intuitivo bajo entornos gráficos como Windows, explosión que se ha extendido hasta la actualidad. Es el caso de ProModel, Arena, Simfactory o Simvox, por ejemplo. La evolución de las computadoras y del software comercial se dirige hacia sistemas que puedan ser manejados por personas no especialistas y con máquinas cada vez más potentes a menor costo. Las técnicas orientadas al objeto conducen a programas de utilización más intuitiva. Todo ello nos sugiere un incremento considerable de la aplicación de las técnicas de simulación.

2.5.4. Software Comercial para Simulación

La Tabla 2.1 muestra algunos paquetes de software específicamente diseñados para simulación que se pueden encontrar en el mercado y en Internet. [3, 11].

En relación con los paquetes que aparecen en la tabla, cabe agruparlos en varias gamas de simuladores:

Tabla 2.1. Softwares comerciales para simulación.

PRODUCTO Distribuidor Fabricante	Áreas de Aplicación	Aplicaciones realizadas	Lenguajes
PROMODEL ProModel Corporation VAO Technology (EEUU)	Propósito general.	Simulación de grandes almacenes, líneas de montaje, sector automoción, sistemas automatizados y hombre-máquina.	Propio
ARENA Rockwell Software Inc. (EEUU)	Propósito general.	Simulación de grandes almacenes, líneas de montaje, sector automoción, sistemas automatizados y hombre-máquina.	–
GI – 7 Sincromat NDC (Suecia)	Simulación para el análisis de líneas de montaje flexibles, almacenes automáticos y sistemas de transporte	Líneas de montaje de los sectores automóvil, línea blanca, grandes almacenes, logística y transporte.	–
HYSIS Rexroth Mannesman Rexroth (Alemania)	Simulación de sistemas hidráulicos. Obtención de gráficos de velocidad , posición, presión, etc.	Sistema hidráulico completo de banco de prueba de impactos de automóviles.	–
MODSIM SICO Software CACI (EEUU)	Propósito general.	Creación de librerías de objetos para otros entornos como el Simfactory.	Propio
SIMAC Goimendi S.A. PROSYST (Francia)	Simulación de sistemas reales para poner a punto autómatas.	Simulación de máquinas de conformado (automóvil). Simulación de máquinas transfer.	Propio
SIMANIV Sincromat System Models Corp. (EEUU)	Simulación para el análisis de líneas de montaje flexibles, almacenes automáticos y sistemas de transporte-AGV	Líneas de montaje de los sectores automovilístico, línea blanca, grandes almacenes, logística y transporte.	Propio
SIMFACTORY SICO Software CACI (EEUU)	Simulación para análisis de sistemas de producción.	Simulación de sistemas de producción y fabricación.	Modsim
SIMVOX Fisher – Rosemount Inc. Munger Corporation (EEUU)	Simulación de controladores e instrumentación para sistemas de fabricación PROVOX.	Monitoreo simulado de los inputs (entradas) y outputs (salidas) de sistemas basados en controladores industriales PROVOX	Propio, Fortran, C

TAYLOR Aries Ing. y Sistemas F&H Simulations BV (Holanda)	Propósito general.	Simulación de grandes almacenes, líneas de montaje, sector automoción, líneas de pistones.	Propio, Pascal
WITNESS AT&T ISTEL (EEUU)	Simulación de sistemas de fabricación y logística.	Simulación de líneas de producción en el sector automoción, aplicaciones para grandes superficies	Propio
FACTOR/AIM Pritsker Corp. (EEUU)	Simulación de sistemas de fabricación y logística.	Simulación de sistemas de producción y logística	C++

Fuentes: Sociedad Nacional de Industrias [11]
Herbert Hoeger [3]

a) ***SIMULACIÓN PARA ANALIZAR SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y LOGÍSTICA:*** En este grupo se encuentran los productos ProModel, Arena, GI-7, Modsim, Siman, Simfactory, Taylor, Witness y Factor/Aim. Permiten la simulación de sistemas de colas, transporte, etc...EL tipo de simulación es en general dinámica, estocástica y discreta (aunque pueden simularse procesos continuos). En general todos contemplan elementos básicos tales como piezas, procesos, máquinas, buffers y transporte entre otros.

b) ***SIMULACIÓN PARA PONER A PRUEBA SISTEMAS REALES:*** Este tipo de productos, como SIMAC, son menos generales puesto que el simulador debe engañar a un conjunto de elementos específicos. A menudo son suministrados por los mismos fabricantes de los dispositivos (éste es el caso de Simvox). Sin embargo, ProModel y Arena están equipados con herramientas que cumplen con las especificaciones y requisitos de estos tipos de simuladores, lo que los hace más accesibles al público. La simulación en estos casos es en general dinámica, determinista y discreta.

c) ***SIMULACIÓN PARA OBSERVAR EL COMPORTAMIENTO DE SISTEMAS MECÁNICOS:*** Es el caso de Hyss. Los cálculos determinan posiciones, velocidades y presiones de cilindros hidráulicos, actuadores, etc. Se trata de simulaciones dinámicas, deterministas y en tiempo continuo.

d) ***PAQUETES DE CÁLCULO POR ELEMENTOS FINITOS:*** Acostumbran a ser módulos de los sistemas de CAD–3D (AutoCAD, CADLogic, MathCAD, etc.).

e) ***FUERA DE LAS APLICACIONES INDUSTRIALES:*** Juegos por computadora, sistemas basados en realidad virtual, etc.

2.6. DISEÑO DE EXPERIMENTOS DE SIMULACIÓN

Cuando se ha validado el programa de computadora, se entra a la fase del diseño de experimentos que se quiere simular. Deben definirse las variables endógenas y exógenas, y las estructuras funcionales que las relacionan.

Se eligen las distribuciones de probabilidad adecuadas a los parámetros aleatorios y se generan los números aleatorios que, de acuerdo a estas distribuciones, representan al sistema bajo estudio.

2.6.1. Variables de la simulación

En simulación se pueden identificar principalmente cuatro tipos de variables:

1) ***VARIABLES DE ENTRADA;*** los datos de entrada del sistema son necesarios para describir el propio funcionamiento del mismo.

Las variables de entrada con las que contienen en sí mismas la información requerida por el modelo de simulación para iniciar la ejecución de los procesos modelados. Por lo general son no controlables e independientes. Suelen ser variables de entrada el número de arribos por intervalo de tiempo (así como el tiempo entre arribos), el tiempo de servicio de cada servidor, la cantidad de llegadas fallidas, etc.

2) ***VARIABLES DE DECISIÓN;*** son las variables que describen dentro del modelo, en términos numéricos, la intervención del decisor sobre el sistema. Son variables endógenas, controlables e independientes y sus valores están sujetos a la voluntad del decisor. Suelen ser variables de decisión la cantidad de servidores en el sistema, las características de determinado servidor, la capacidad de la cola.

3) ***VARIABLES DE ESTADO;*** el estado del sistema está caracterizado por el valor que tengan las variables de estado en un instante de tiempo dado. El conjunto de variables de estado debe ser suficiente para el propósito de estudio, y puede diferir en el número y tipo de variables si los objetivos de la simulación cambian. Si la simulación es detenida, puede ser continuada después si y sólo si los valores de las variables de estado son conocidos. Suelen ser variables de estado la longitud de la cola en determinado instante, la cantidad de clientes que están siendo atendidos.

4) ***VARIABLES DE RESPUESTA, DE SALIDA O DE RESULTADO;*** son en suma las variables de interés final en la simulación. Están intrínsecamente relacionadas con los objetivos de la simulación y representan la consecuencia de las decisiones tomadas dentro del sistema en el escenario que se simula. Suelen ser variables de resultado el tiempo medio de procesamiento, los costos de operación, las utilidades netas.

2.6.2. Determinación del tamaño de muestra

Para inferir los valores de ciertos parámetros de la población, es necesario estimar el tamaño de la muestra que será simulada.

Si se conoce la desviación estándar (σ), entonces el tamaño de la muestra *n*, que garantiza un error *e* (diferencia entre $\overline{X}$, valor medio de la muestra, y μ, valor medio real de la población) con un grado de confianza α, se obtiene de

$$n = \left[\frac{Z_\alpha \sigma}{e} \right]^2$$

Donde Z_α es la abscisa de la distribución normal estándar para una probabilidad acumulada de $1 - \frac{\alpha}{2}$.

Un procedimiento similar se utiliza para determinar el tamaño de una muestra que garantice que una proporción real π de una población tenga ciertos atributos o propiedades. Para un error dado *e* (diferencia entre π, proporción real, y *p*, proporción estimada) y un grado de confianza α, el tamaño de la muestra se obtiene de

$$n = \frac{Z_\alpha^2}{4e^2}$$

Es necesario precisar que no en todos los experimentos de simulación se requerirá del cálculo de una muestra.

2.6.3. Valores medios e intervalos de confianza para una variable de salida

Las *N* réplicas que se hagan de una simulación deberían hacerse con distintos números aleatorios. Es conveniente, para usarlas en las comparaciones, que las secciones independientes del modelo usen cantidades diferentes de números aleatorios, pero no es esencial en la discusión sobre el cómo extraer resultados de las corridas de un modelo fijo solamente.

En la práctica, repeticiones con semillas distantes pueden ser hechas repitiendo la corrida sin reinicializar las semillas. Es decir, cada corrida usa como semilla, el valor final del número aleatorio del caudal correspondiente.

Otro método es inicializar expresamente las semillas con valores diferentes en cada repetición. Es prácticamente imposible (en las corridas sin reinicializar) que en una corrida las semillas iniciales sean las mismas que aquellas en otra repetición, por lo que la correlación es altamente improbable. En estas condiciones, las distintas repeticiones pueden ser consideradas, con seguridad, procesos estocásticos independientes.

Consideremos alguna variable de interés en el sistema real. En una corrida, obtenemos un valor de esta variable. En *N* repeticiones de la corrida, con distintas semillas, obtenemos los valores x_i, i = 1, 2, …, *N*. Estos x_i son, entonces, independientes y, puesto que son obtenidos del mismo proceso estocástico, tienen la misma distribución de probabilidad.
El valor medio de las *N* réplicas es:

$$\bar{x} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i$$

y puede ser considerado una buena aproximación, o un estimador no sesgado, de la media μ de la población de *todas las corridas posibles*.

Por su parte, la desviación estándar calculada así:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$$

es un estimador de la desviación estándar, σ, de todas las corridas, suponiendo que las corridas son independientes y por lo tanto, que las secuencias de las x_i no tienen autocorrelación.

Si se tomaran todas las muestras de réplicas posibles de tamaño *N*, se puede mostrar (dado que las x_i son independientes y tienen la misma distribución) que los valores $\frac{\bar{x}-\mu}{\sqrt{\frac{s^2}{N}}}$ tienen una distribución *t de Student* con *N* – 1 grados de libertad, donde μ es la media de la población de todas las posibles muestras de tamaño *N*.

Este resultado matemático permite evaluar hipótesis acerca de las medias en una aplicación de lo que se conoce como docimasia de hipótesis.

Para una muestra de *N* repeticiones (o réplicas como también se denominan), el intervalo con un nivel de confianza de 1 − α para $\bar{x}$ viene dado por:

$$\bar{x} \pm t_{N-1}(1-\alpha/2)\sqrt{\frac{s^2}{N}}$$

donde $t_{N-1}(1-\alpha/2)$ es el valor para el cual la probabilidad computada con la distribución *t* de Student con *N* – 1 grados de libertad, es de $1-\alpha/2$.

El significado de este intervalo de confianza se explica así: Si la población de todos los intervalos estimados de esta manera (a partir de todas las muestras posibles de tamaño *N*) es la considerada, la probabilidad de que ellos contengan a μ es mayor que 1 − α. Es decir, una fracción de 1 − α o más de esos intervalos, contienen a la media real.

El tamaño de este intervalo de confianza nos da una estimación del error estadístico en esa $\bar{x}$ obtenida de las *N* repeticiones con un nivel de confianza predefinido en α.

Nótese que el tamaño del intervalo crece en proporción a *s* e inversamente proporcional a $\sqrt{N}$. Si se multiplica el número de repeticiones por 4, el tamaño del intervalo decrece apenas en la mitad (un poco más, puesto que t_{N-1} decrece con *N*). Mientras más confianza se procure, los intervalos crecerán, puesto que $\bar{x} = t_{N-1}(1-\alpha/2)$ aumenta con aumentos en $1-\alpha/2$.

Ejemplo 2.1:

Un modelo de cola simple, con tiempo entre llegadas de 4.0 y tiempo de servicio de 3.8, ambos con distribuciones exponenciales, fue simulado por un tiempo total de 10000 unidades de tiempo, usando diferentes números aleatorios. Los resultados en 10 repeticiones del tiempo medio de permanencia en la cola fueron:

Réplica 1:	171.892
Réplica 2:	77.520
Réplica 3:	39.394

Réplica 4: 51.034
Réplica 5: 51.500
Réplica 6: 43.597
Réplica 7: 81.950
Réplica 8: 23.987
Réplica 9: 142.382
Réplica 10: 59.092

La media es $\bar{x}$ = 74.2352 y la desviación estándar *s* = 47.3919. De la tabla de los valores de la distribución *t* de Student para $\alpha = 0.1$, $1-\alpha/2 = 0.95$ y con 10 − 1 = 9 grados de libertad, obtenemos:

$$t_{N-1}(1-\alpha/2) = 1.833;$$

y:

$$\bar{x} \pm t_{N-1}(1-\alpha/2)\sqrt{\frac{s^2}{N}} = 74.2352 \pm 27.4705$$

Esto significa que μ está en el intervalo (46.7647, 101.7057) con probabilidad 0.90.

Observamos que el error es alto.

2.6.4. Número de corridas para obtener un error dado con un cierto nivel de confianza

Un método aproximado para estimar ese valor comenzar a partir de un intervalo de confianza con un *N* tentativo, generalmente pequeño, y usar:

$$n_\alpha(e) = \min\left\{ i : t_{N-1}(1-\alpha/2)\sqrt{\frac{s^2}{i}} \le e \right\}$$

Comenzando con $i = N + 1$ y suponiendo que *s* no cambia con *i*. El valor mínimo *i* para el cual se cumple la desigualdad se alcanza aumentando *i* uno por uno y verificando, es decir, por ensayo y error.

Ejemplo 2.2:

Para obtener un intervalo de 2×10 (es decir, $e = 10$, en lugar del intervalo de 2×27.4705 – $e = 27.4705$ – que se mostró en el inciso anterior), con este método el tamaño *i* de la muestra debe ser tal que:

$$t_{N-1}(1-\alpha/2)\sqrt{\frac{s^2}{i}} = t_{N-1}(1-0.05)\sqrt{\frac{47.3919^2}{i}} \leq 10$$

Por prueba y error podemos ver que *i* debe ser menor que 75 (ver Tabla A4, Anexo III), de tal modo el valor de $t_{75}(1-0.1/2)$ = 1,665 puede ser usado sin riesgo. Entonces:

$$i \geq \frac{1.665^2 \times 47.3919^2}{10^2} = 62.26$$

de tal forma que 63 réplicas serán suficientes.

El método asume que *s* no cambia con *N*, por lo que sólo se podrá utilizar para simular sistemas donde se tenga un estado estable o en ***simulaciones terminales***.

2.7. PROCESO DE SIMULACIÓN

Para desarrollar el proceso de simulación se ha elegido el software de simulación ProModel.

ProModel es un simulador con animación para computadoras personales. Permite simular cualquier tipo de sistemas de manufactura, logística, manejo de materiales, etc. Asimismo, permite simular bandas de transporte, grúas viajeras, ensamble, corte, talleres, logística, etc.

ProModel es un paquete de simulación que no requiere programación, aunque sí lo permite. Utiliza la plataforma Windows®. Posee una combinación entre facilidad de uso y flexibilidad para aplicaciones complejas.

Es posible simular sistemas con características complejas, satisfaciendo los requerimientos de Justo a Tiempo, Teoría de Restricciones, Sistemas de empuje, jale, Logística, entre otras. Prácticamente, se puede modelar cualquier sistema.

Una vez hecho el modelo, éste puede ser optimizado para encontrar los valores óptimos de los parámetros claves del mismo. Algunos ejemplos incluyen determinar la mejor combinación de factores para maximizar la producción minimizando el costo, minimizar el número de camiones sin afectar el nivel de servicio, entre otras.

El módulo de optimización nos ayuda a encontrar rápidamente la solución óptima, en lugar de solamente hacer prueba y error. ProModel cuenta con 2 optimizadores disponibles y permite de esta manera explotar los modelos de forma rápida y confiable.

BENEFICIOS CLAVE

- Único software de simulación con optimización plenamente integrada.
- Creación de modelos en forma rápida, sencilla y flexible.
- Modelos optimizables.
- Elementos de logística, manejo de materiales, y operaciones incluidas bandas de transporte, grúas viajeras, operadores.
- Entrenamiento en español.

- Resultados probados.
- Importación del layout de Autocad, y cualquier herramienta de CAD / CAE / Diseño, así como de fotografías digitales.
- Soporte técnico 24 horas al día, 365 días del año.
- Integración a Excel, Lotus, Visual Basic y herramientas de Microsoft.
- Genera automáticamente las gráficas en 3 dimensiones para visualización en el espacio tridimensional.

REQUERIMIENTOS DE HARDWARE

Mínimos

- Al menos procesador Intel 486.
- 32 megabytes de memoria RAM (8 de memoria extendida).
- 25 megabytes de espacio libre en el disco duro.
- Monitor VGA (640 x 480).
- Unidad de CD ROM.
- Ratón (Mouse).

Recomendados

- Procesador Pentium 200 MMX o superior.
- 32 megabytes de memoria RAM.
- 65 megabytes de espacio libre en el disco duro.
- Monitor SVGA (1024 x 786 x 16 millones de colores).
- Unidad de CD ROM.
- Tarjeta de sonido.
- Acceso a Internet.
- Ratón (Mouse).

2.8. HIPÓTESIS

Con el análisis y simulación de los procesos de edición y diseño, se podrá minimizar los costos y tiempos de los procesos de producción de libros de informática para los niveles de educación primaria y secundaria.

2.9. VARIABLES

a) De entrada:

- Tiempos de producción de cada servidor en las áreas de edición y diseño

b) De decisión:

- Presupuesto
- Cantidad de servidores de edición y diseño

c) De estado:

- Cantidad de libros en las colas de cada servidor de edición y diseño.
- Cantidad total de libros siendo atendidos por todos los servidores de las áreas de edición y diseño.
- Tiempo medio que un libro espera en cada cola de cada servidor.

d) De resultado:

- Tiempo total de ejecución del proyecto
- Costo total del proyecto
- Costo promedio del proyecto por hora de operación

CAPÍTULO III

EL SISTEMA

3.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE LIBROS DE INFORMATIK SERVICE SAC

3.1.1. Antecedentes

En el año 1998, se inaugura la empresa Cyber café, con 6 sucursales a nivel de Lima Metropolitana, dichos Cyber café tenían el mismo formato de los cibercafé del extranjero.

En el año 2000 se convierte en la editorial Informatik En el año 2001 el gobierno peruano lanza el plan Huascarán, esto hace que la editorial Informatik sufra una baja en sus ventas.

Posteriormente la editorial logra recuperarse y a tener acogida a nivel nacional, debido a que una de sus estrategias fue llegar primero a provincias y luego, con esta experiencia, poder introducirse al mercado limeño, compitiendo con las grandes editoriales del medio.

Informatik Ediciones en la actualidad posee 8 proyectos, los cuales son:

- Libros de informática
- Libros Ntics
- Libro Computación para todos
- Robótica
- Campus virtual
- Aulas virtuales

- Gestión empresarial
- Capacitaciones

DEFINICIONES DE LOS PROYECTOS Y SERVICIOS QUE OFRECE LA EMPRESA INFORMATIK EDICIONES:

LIBROS DE INFORMÁTICA, se producen libros para los niveles educativos: inicial, primaria y secundaria, de los cuales actualmente se edita las versiones de office 2003 y office 2007 como proyecto actual.

LIBROS NTICS, son libros que contienen temas sobre las nuevas tecnologías de la informática. Estos textos están dirigidos principalmente a los profesores.

LIBRO COMPUTACIÓN PARA TODOS, con textos de informática para el público en general.

ROBÓTICA, este proyecto de robótica se aplica en los colegios particulares y estatales, ya sea como curso de verano o taller de fin de semana, tanto para los profesores como para los alumnos.

CAMPUS VIRTUAL; el libro de informática crea en el estudiante la necesidad de tener acceso al campus virtual desde donde descarga los trabajos y evaluaciones del libro de computación que está utilizando.

AULAS VIRTUALES, es un servicio que se le brinda al colegio que decide utilizar los textos de la editorial como material de enseñanza; mediante los libros se les crea la necesidad de tener un aula virtual para el curso de computación y para otros cursos que se enseñan en el plantel.

GESTIÓN EMPRESARIAL, son textos abocados a la micro y macro

empresa. Con estos textos los alumnos podrán conocer un poco más sobre el mercado globalizado.

CAPACITACIONES, la editorial dispone de personal especializado para la ejecución de este servicio. Realiza capacitaciones para docentes sobre los diferentes programas que contienen sus textos, así como también capacitaciones para el uso adecuado de las aulas virtuales.

Informatik también posee una plana docente de computación, cuyos docentes se integran a las diferentes instituciones educativas que lo requieran.

3.1.2. Misión

Ser una empresa competitiva, ofreciendo textos actualizados continuamente a la vanguardia de la informática.

3.1.3. Visión

Ser una empresa líder en el ámbito editorial, reconocida por su contribución a la comunidad a través de la difusión del conocimiento y dominio del campo de la informática.

3.1.4. Objetivos Estratégicos

- Ejecutar proyectos de cobertura nacional e internacional
- Posicionarse en el mercado nacional e internacional como una empresa seria, responsable y dinámica.
- Ser líderes en el mercado.

3.1.5. Organigrama

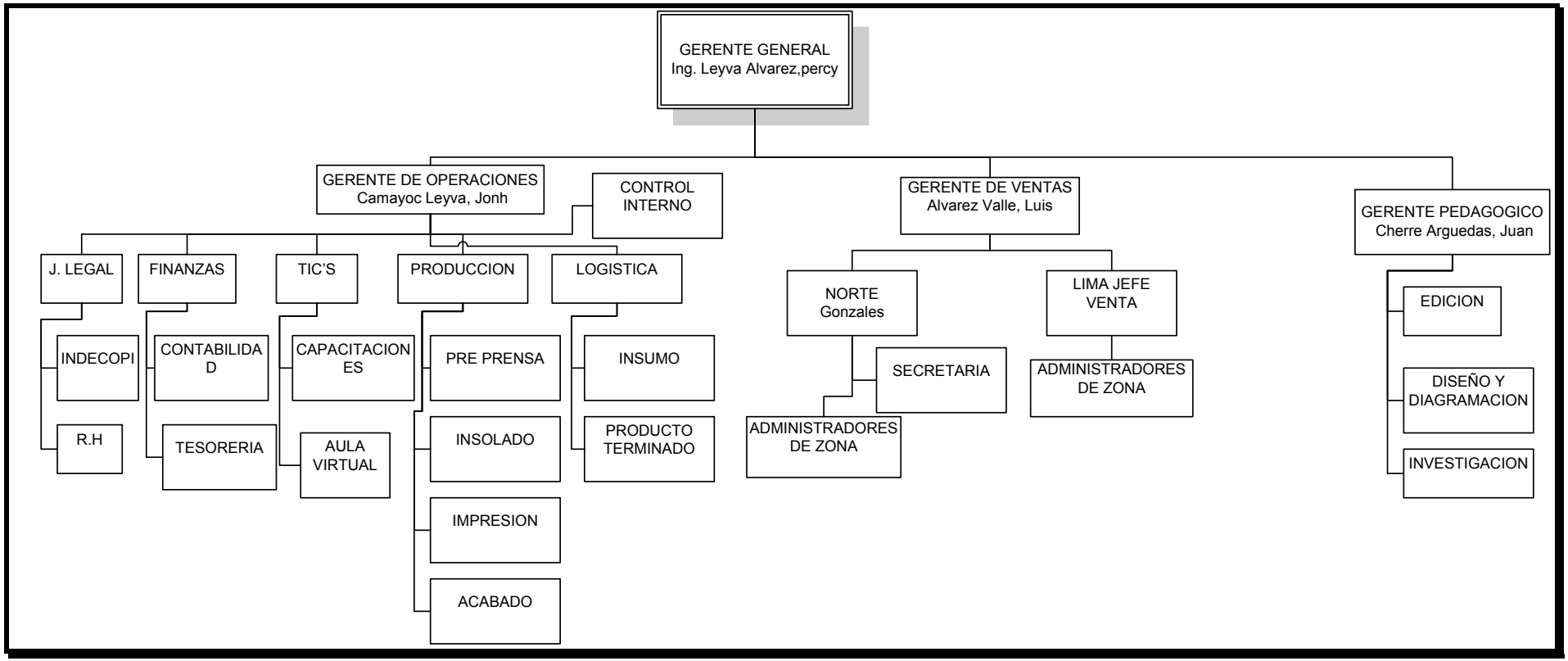


Figura 3.1. Organigrama Funcional de Informatik Service SAC.

3.1.6. Diagrama de Flujo del Sistema de Producción de libros de Informatik Service SAC.

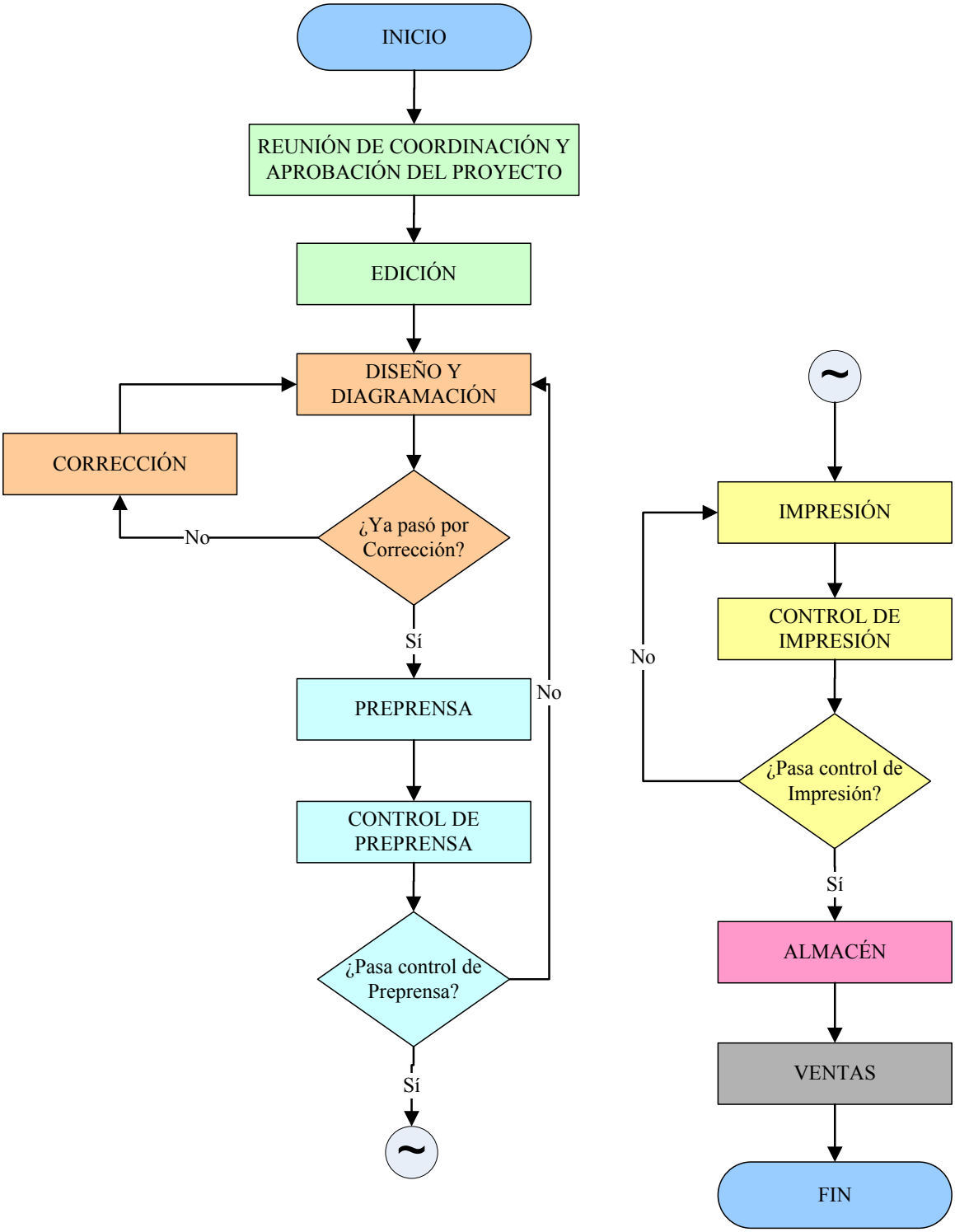


Figura 3.2. Diagrama de flujo del sistema de producción de libros de Informatik Service SAC.

Los colores en los que se ha segmentado el flujograma mostrado en la Figura 3.2, corresponden a un área de la empresa por color utilizado. La leyenda de los colores es como sigue:

- Área de Edición
- Área de Diseño y Diagramación
- Área de Preprensa
- Área de Impresión
- Almacén
- Área de Ventas

3.1.7. Esquema de trabajo del Sistema de Producción de libros de Informatik Service SAC.

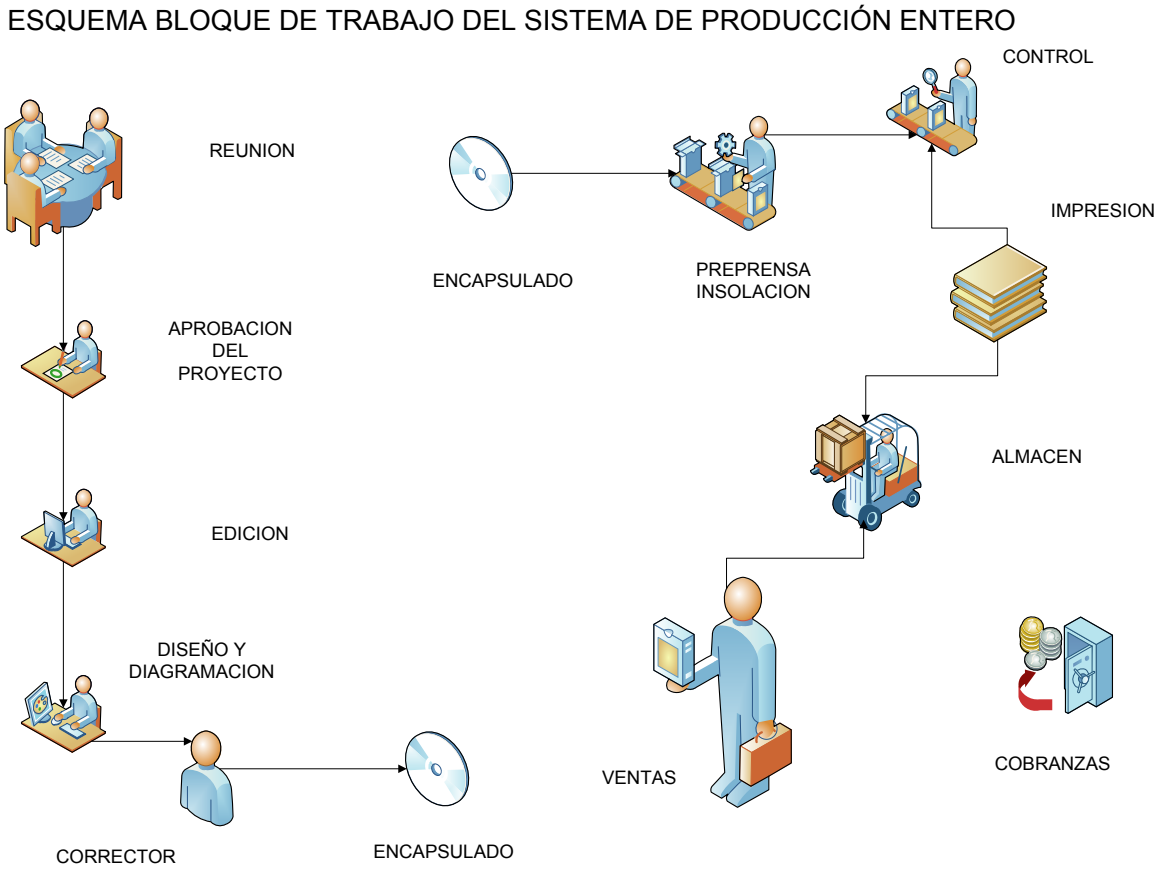


Figura 3.3. Esquema de trabajo del Sistema de Producción de libros de Informatik SAC.

3.1.8. Diagrama de Causa-Efecto de los problemas del Sistema de Producción de libros de Informatik Service SAC.

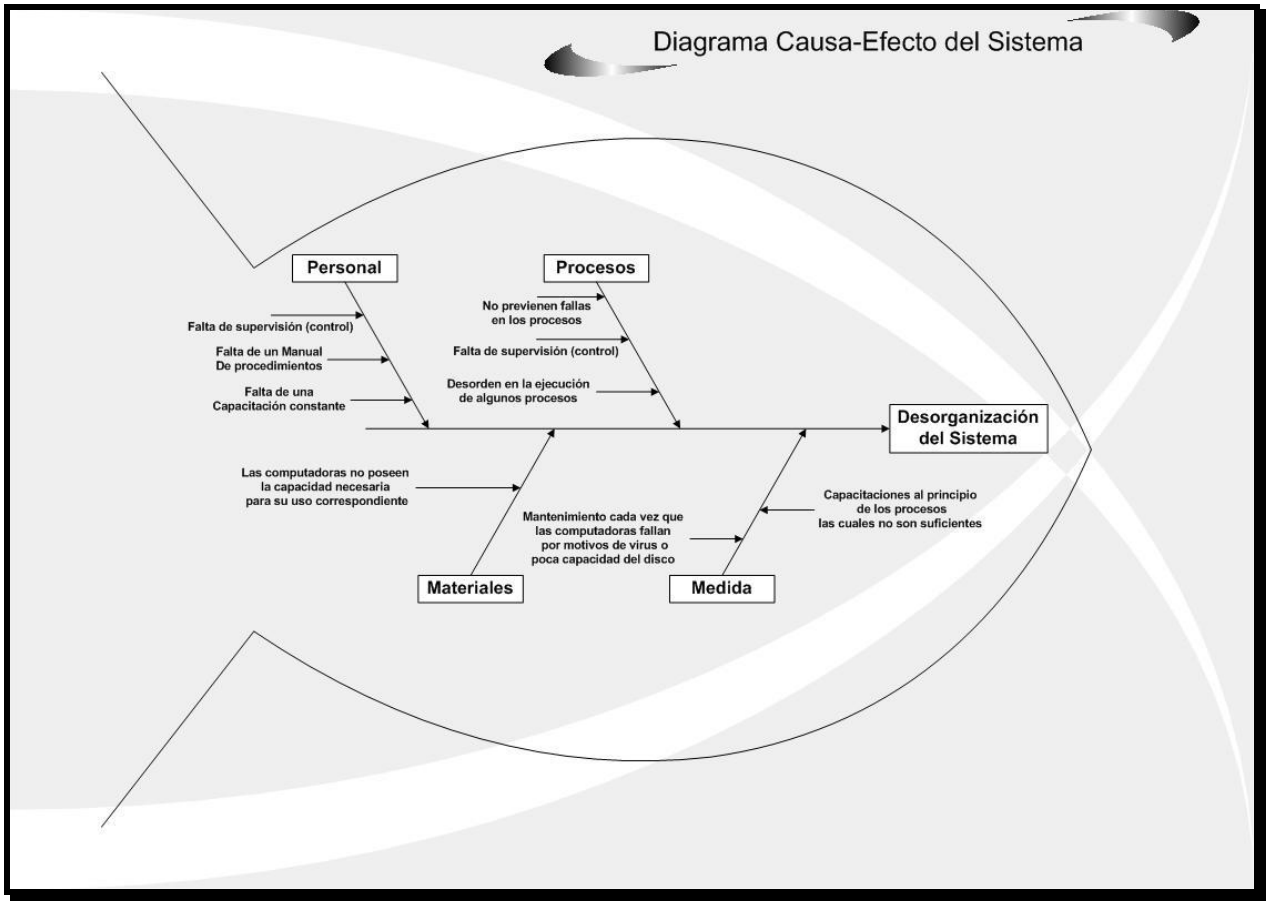


Figura 3.4. Diagrama de Causa-Efecto del Sistema de Producción de libros de Informatik SAC.

3.2. ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE EDICIÓN Y DISEÑO

3.2.1. Descripción de los procesos de Edición y Diseño

PROCESO DE EDICIÓN

En el proceso de edición se realiza lo siguiente:

- Se hace una investigación de mercado, luego se realiza una investigación de los temas a tratar en los libros.

- Se decide qué programas se van a desarrollar en los libros, así como también la cantidad de temas que va a tener cada libro

- Luego se realiza el cartel de contenidos.

CARTEL DE CONTENIDOS: Es un esquema en el cual se encuentran los temas que van a desarrollarse en los libros.

Los libros a elaborarse corresponden a los tres niveles de la educación básica regular:

- ❖ Inicial
- ❖ Primaria
- ❖ Secundaria.

Antes de realizar el contenido de los libros, se investiga sobre cada programa a incluir en ellos, así como la metodología a usar en cada tema.

Luego, se elabora el primer machote de los libros, en el cual se desarrollan las clases de cada tema con sus respectivas actividades. Al editar los contenidos de los libros se debe verificar que los temas y sus desarrollos no sean iguales a otras publicaciones.

Posteriormente, se entrega el primer machote a diseño (ya sea en archivo – *.docx – o impreso).

El cuarto paso consiste en realizar la primera revisión del segundo machote entregado por diseño (es la primera diagramación que realiza diseño en base al primer machote entregado por edición).

Como quinto paso se debe entregar a diseño las correcciones del segundo machote.

Se realizan hasta tres correcciones según el tiempo que se disponga para la producción.

PROCESO DE DISEÑO

Primero se debe realizar una *investigación del producto*; es decir, conocer el factor diferenciador (conocer la competencia, darle énfasis) y el libro debe tener proporción (todo debe estar balanceado), en suma, se debe ver el diseño como una unidad.

Luego se hace un estudio de mercado del libro que se va a lanzar. Se plantean las propuestas entre dos y tres, no se puede realizar más porque puede causar indecisión y alargaría el trabajo.

Se maneja el tiempo de lunes a viernes, es decir la disponibilidad del diseñador, y se trabaja con archivos *.pdf, ya que en este formato el archivo se ve similar al producto real y se puede enviar al cliente.

Los pasos de este proceso se pueden listar de la siguiente manera:

1. Se selecciona el tema a tratar en el libro

2. Se debe conocer el público objetivo

3. Investigación de la competencia

4. Investigar sobre el diseño, lo que está a la vanguardia.

5. Algunas veces se realiza un Focus Group para generar una lluvia de ideas.

6. Se hace un boceto, es decir una idea rápida, trazos a mano alzada para la revisión del diseñador. Aquí se trabaja la parte cromática, esto es, el boceto a colores, y se debe recurrir a la psicología del color, es decir, qué significa cada color; el diseño debe poseer coherencia, relación con lo que es en sí el producto, lo que se va vender.

7. Se lleva el boceto corregido a digitalizar con el software Corel Draw para el diseño y Photoshop para las imágenes. Antes de llevar a digitalizar se selecciona los principios del diseño, es decir, los puntos a tener en cuenta para lograr un diseño exitoso y la tipografía, es decir, el tipo de letra del producto.

8. Se genera 3 propuestas como máximo. Si el cliente está en otro lugar lejano se maneja las presentaciones vía Internet enviando el archivo por e-mail.

9. El boceto se presenta a los 3 días del contrato, y el arte final al quinto o sexto día.

10. El cliente define el arte, luego se hacen retoques y detalles al arte.

11. Se empieza diseñando las cajas de los libros mediante el diseño de las hojas de cada libro, las carátulas, la portada y la contraportada dando prioridad a la portada, se realiza las dos juntas, portada y contraportada.

12. Se elabora el diseño del libro con el contenido.

13. Se realiza el acabado final y se presenta en una exposición al cliente con acuerdo de fechas.

14. Se entrega el material al cliente.

3.2.2. Otros procesos

PROCESO DE PREPRENSA

Existen dos procesos:

1. Elaboración de Fotolitos
2. CTP

Elaboración de Fotolitos

1. Se inicia con la entrega de diseño el trabajo en un CD.
2. Luego se hace la filmación, este proceso dura 4 días.
3. Se realizan películas en una plancha donde hay 4 de ellas.
4. Se realiza el proceso de insolación, donde sale una placa dividida en 4. El proceso dura 2 días.
5. Luego pasa al offset.

Todo el proceso en fotolitos dura alrededor de 6 días.

*CTP**

De la computadora pasa al proceso de filmación donde sale una placa dividida en 4, de cada placa salen 4 hojas del libro. Este proceso dura 2 días.

PROCESO DE IMPRESIÓN

El proceso de impresión comienza con la entrega de las placas por el personal de preprensa, las que son impresas a una velocidad de mil libros por cada 96 horas.

---

* *Ver Glosario de Términos*

3.2.3. Flujograma de los procesos de Edición y Diseño

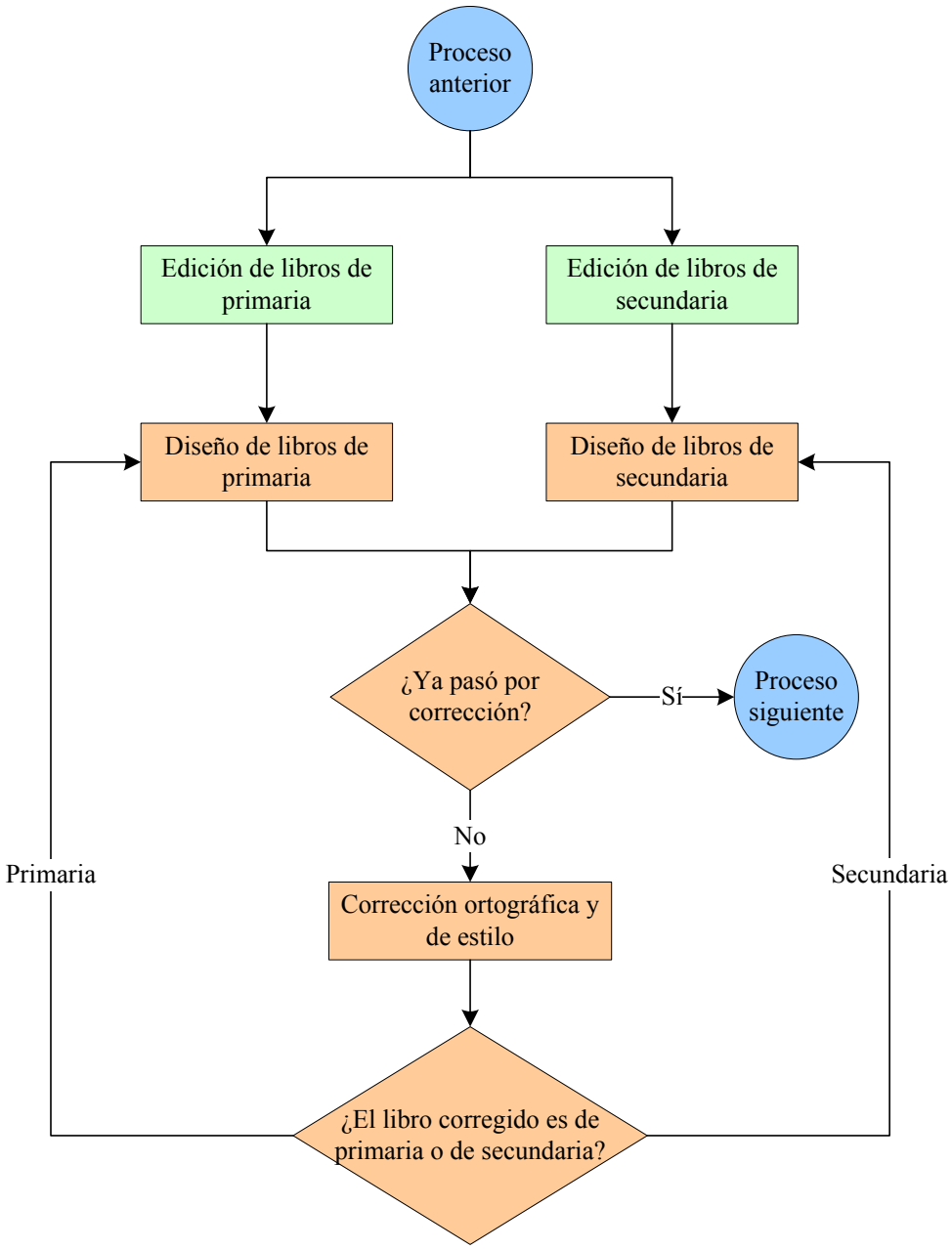


Figura 3.5. Diagrama de flujo de los procesos de Edición y Diseño.

Todos los subprocesos que aparecen en el flujograma, a excepción del de Edición de libros de primaria, cuentan en la actualidad con un solo servidor. En tanto que este subproceso cuenta con dos servidores.

Los servidores del área de Edición son:

- Libros de primaria:
  - ✓ Editor 1

- Libros de secundaria:
  - ✓ Editor 2
  - ✓ Editor 3

Los servidores del área de Diseño y diagramación son:

- Libros de primaria:
  - ✓ Diseñador 1

- Libros de secundaria:
  - ✓ Diseñador 2

- Corrector:

3.2.4. Esquema de trabajo de los Procesos de Edición y Diseño

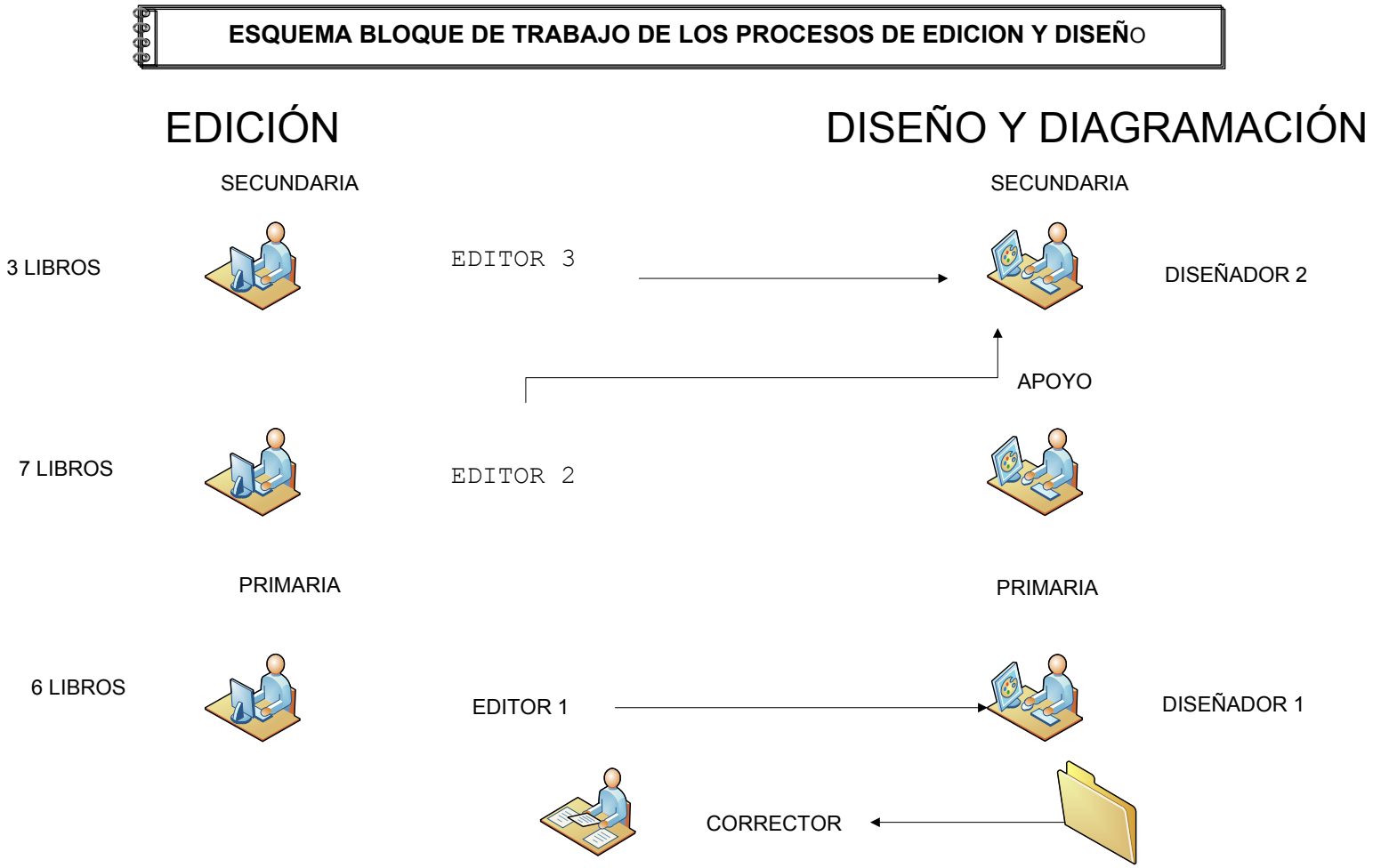


Figura 3.6. Esquema de trabajo de los Procesos de Edición y Diseño.

EDITOR 1 Y DISEÑADOR 1

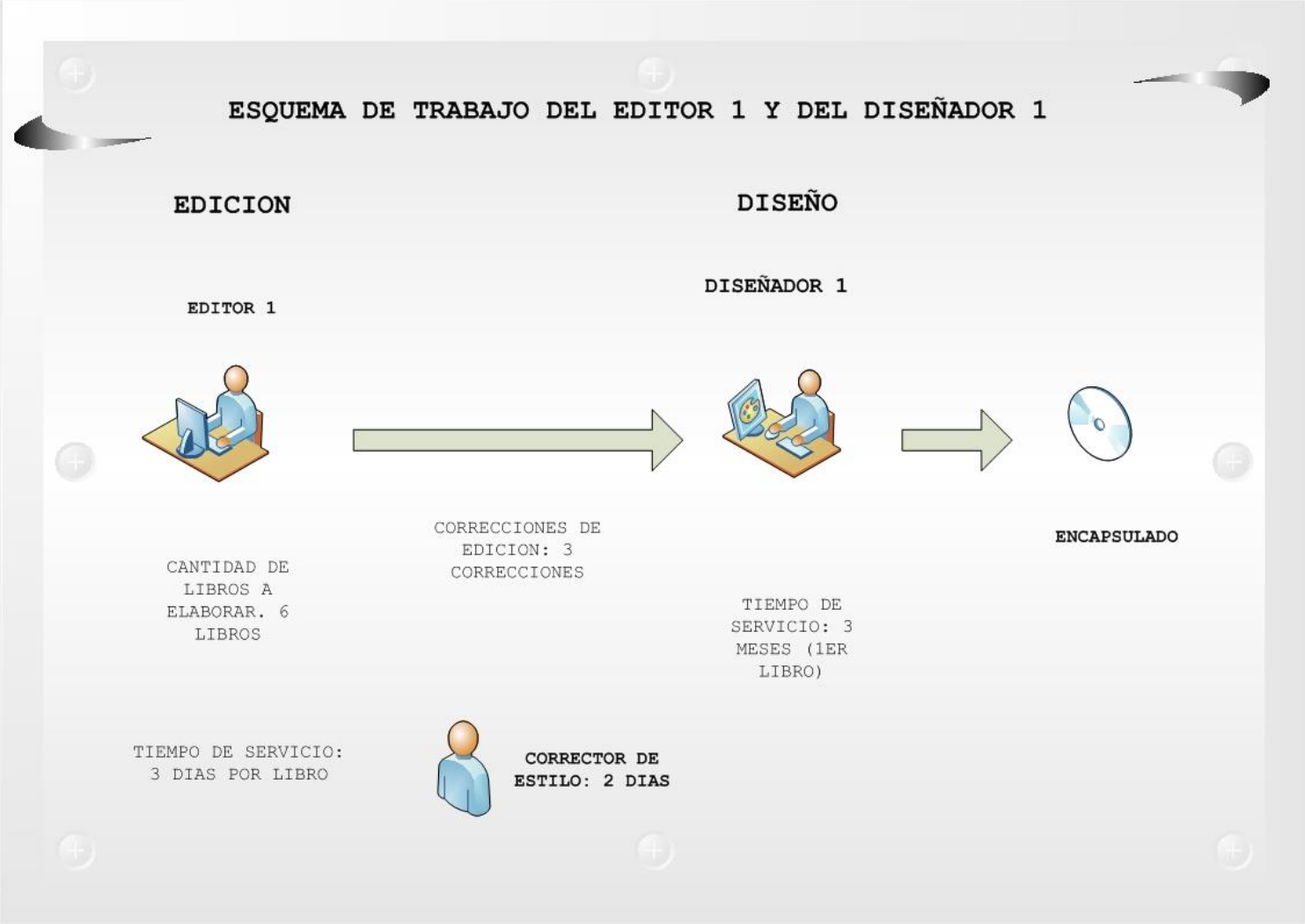


Figura 3.7. Esquema de trabajo del Editor 1 y del Diseñador 1

EDITOR 2 Y DISEÑADOR 2

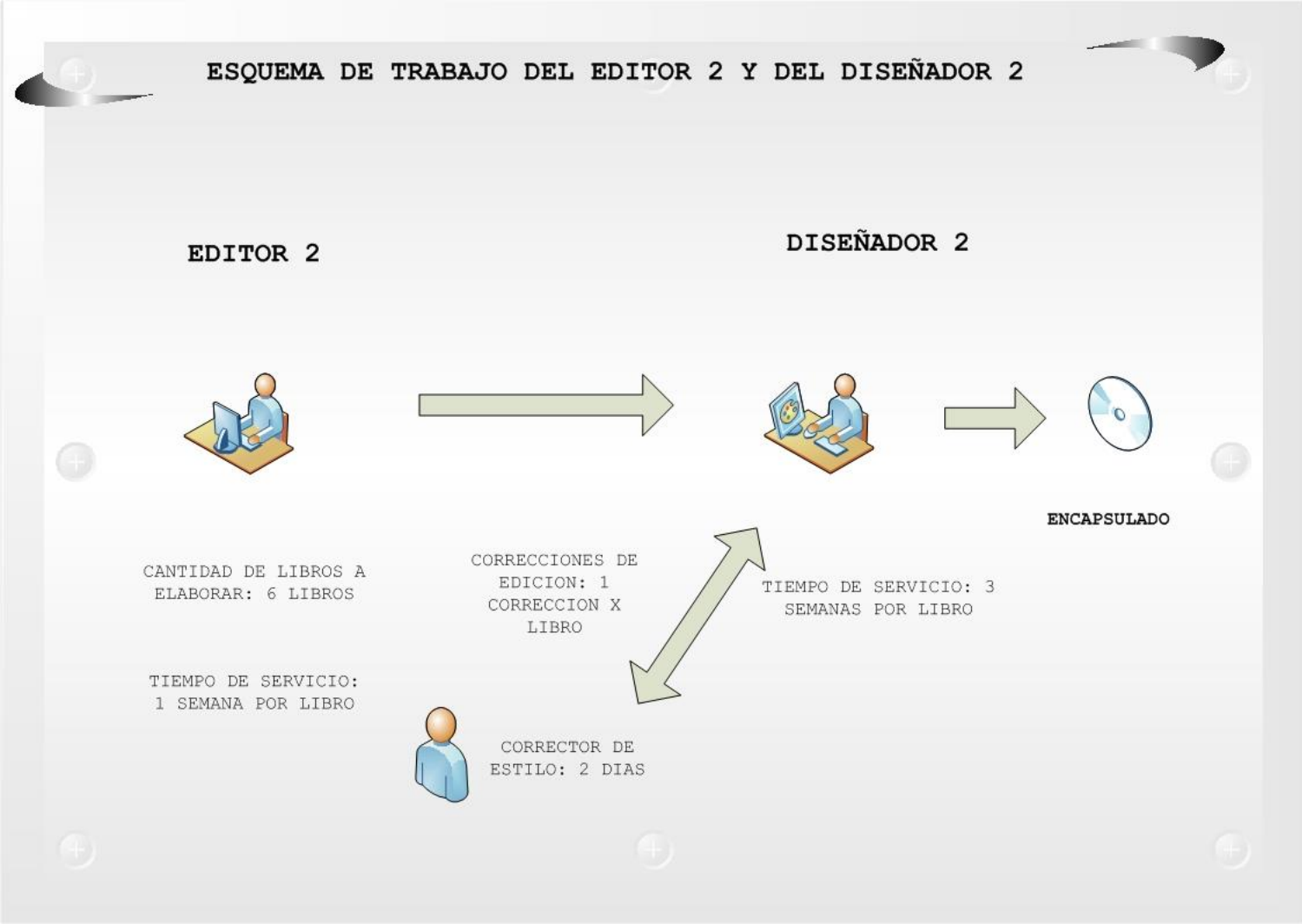


Figura 3.8. Esquema de trabajo del Editor 2 y del Diseñador 2

EDITOR 3 Y DISEÑADOR 2

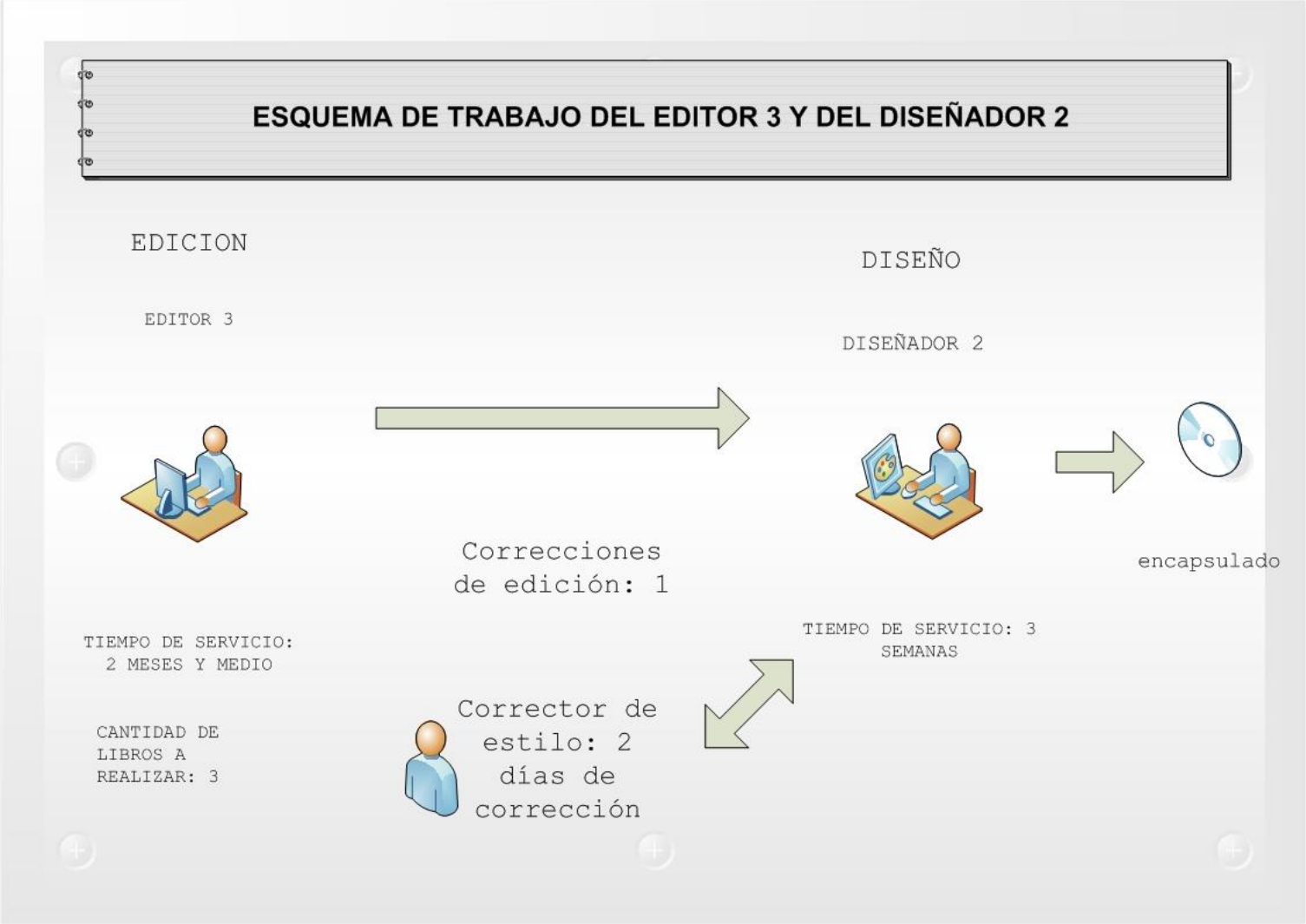


Figura 3.9. Esquema de trabajo del Editor 3 y del Diseñador 2

3.2.5. Diagramas de Causa-Efecto de los problemas en los Procesos de Edición y Diseño

PROCESO DE EDICIÓN

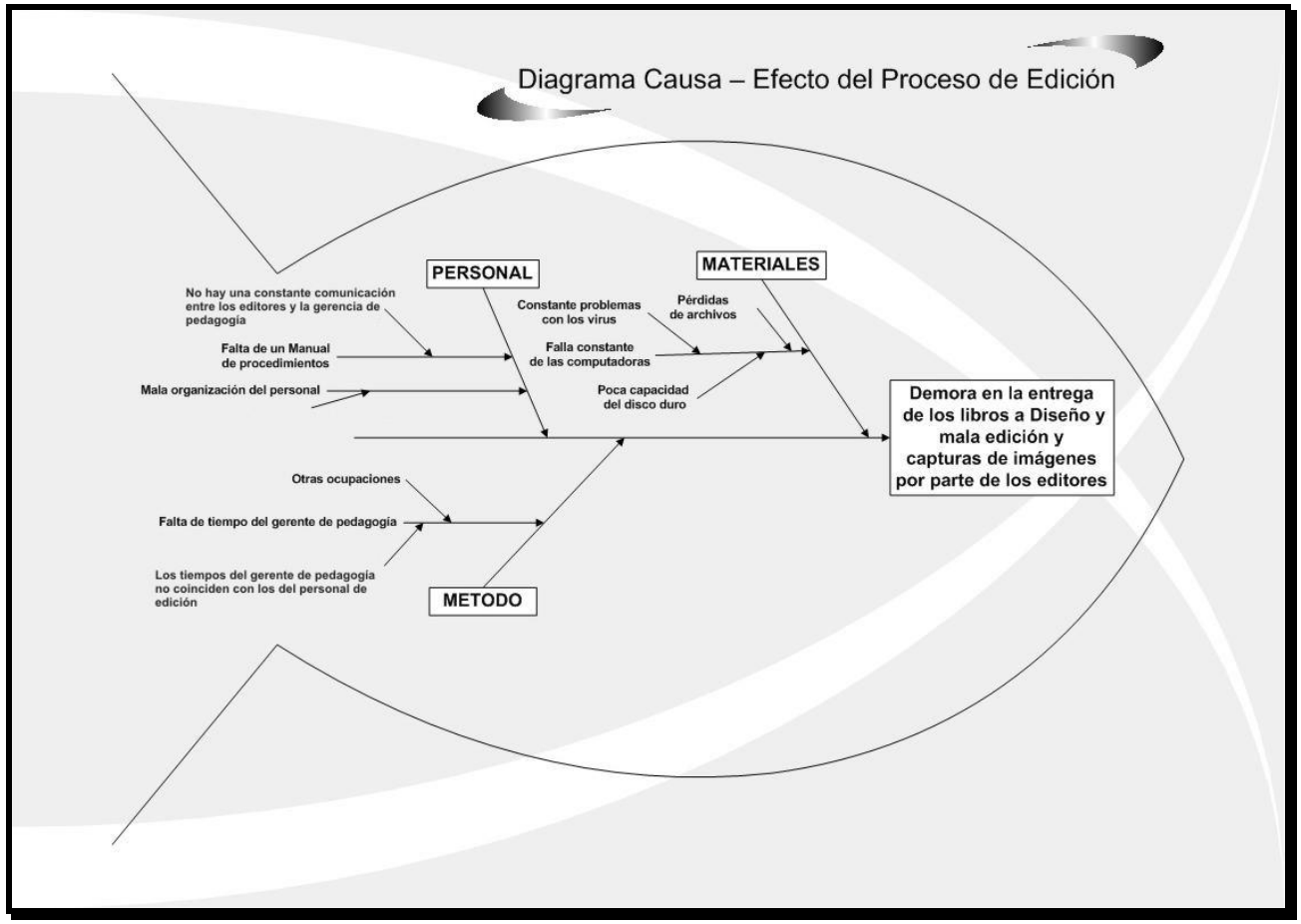


Figura 3.10. Diagrama de Causa-Efecto de los problemas en el proceso de Edición.

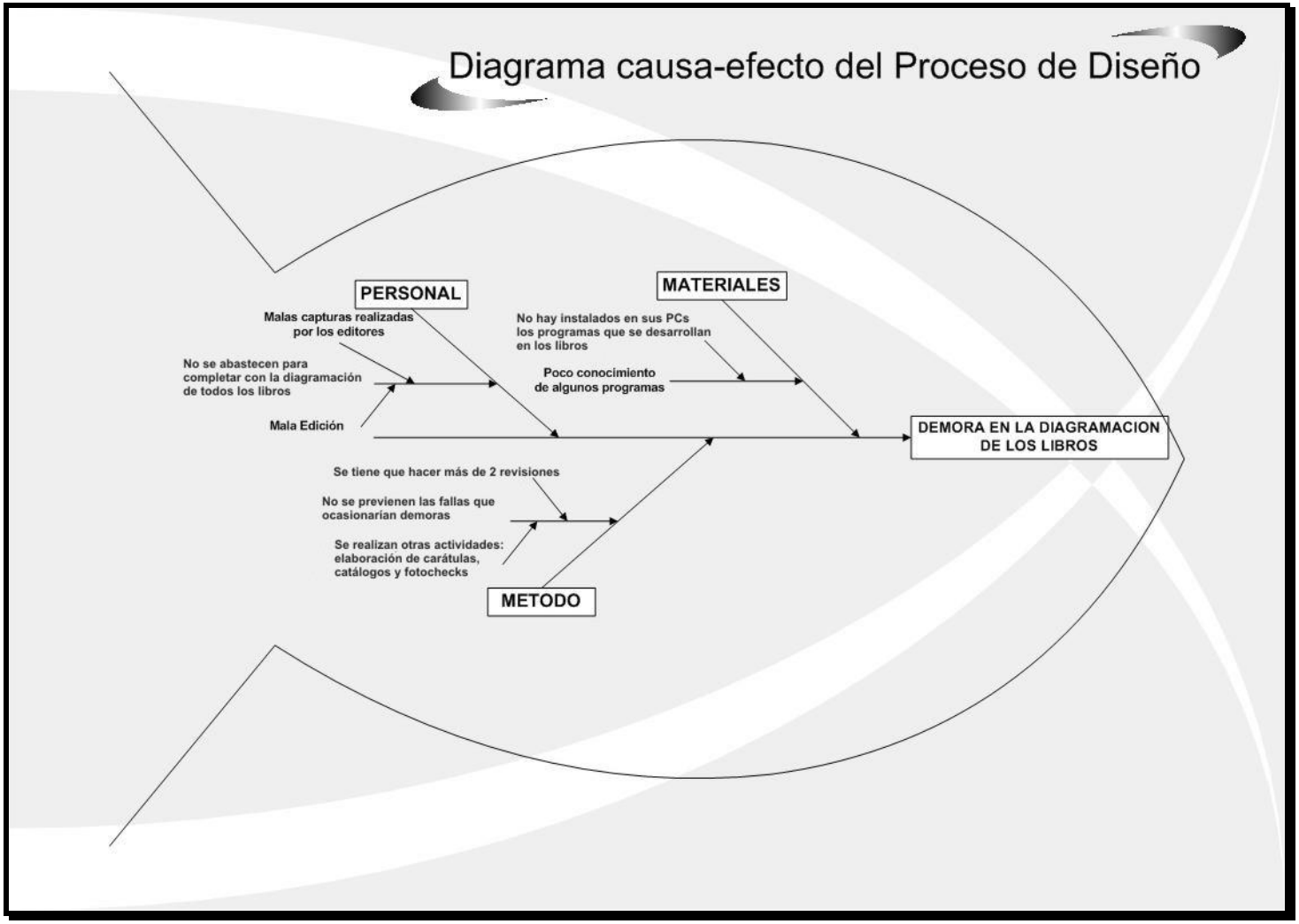


Figura 3.11. Diagrama de Causa-Efecto de los problemas en el proceso de Diseño.

3.2.6. Matriz FODA de los Procesos de Edición y Diseño

Fortalezas	Oportunidades
• Se cuenta con profesionales en el ámbito de la Informática, diseño y diagramación. • Se cuenta con profesores especializados en informática. • Se realizan estudios de mercado constantes sobre los libros que son editados, por lo que se aprovechan las últimas tendencias en presentación de libros.	• La Gerencia Pedagógica es flexible a realizar cambios a fin de mejorar los procesos de edición y diseño.
Debilidades	**Amenazas**
• Los tiempos del personal para realizar sus labores no son suficientes. • Existen demoras en el trabajo por parte de los editores y de los diseñadores. • No existe un manual de procedimientos que norme el flujo de actividades entre los dos procesos.	• Los retrasos que estas dos áreas originan en todo el sistema pueden ocasionar que la competencia le gane la partida a Informatik en la cobertura del mercado. • Existencia de mejores diseños y edición en otras editoriales.

3.2.7. Costos de Producción de los Procesos de Edición y Diseño

Los costos de producción a ser considerados son los salarios de cada servidor en cada área, prorrateados por horas.

En el caso de los editores la determinación del costo es más fácil de asumir, puesto que el salario que reciben es de S/. 8.00 por hora trabajada.

En el caso de los diseñadores y del corrector, la determinación de los costos de producción se muestra en las Tablas 3.1 y 3.2.

Tabla 3.1. Costos de producción de Diseño

Tipo de servidor	Sueldo mensual	Días laborados por semana	Horas laboradas por día	Costo por hora
Diseñador	S/. 550,00	6	8	S/. 2,86

Fuente: Área de RRHH de Informatik Service SAC.

Tabla 3.2. Costos de producción de Corrección

Tipo de servidor	Honorario	Días laborados en el proyecto (aprox.)	Horas laboradas por día	Costo por hora
Corrector	S/. 500.00	32	8	S/. 1,95

Fuente: Área de RRHH de Informatik Service SAC.

3.2.8. Tiempos de Producción en los Procesos de Edición y Diseño

1.- ***ÁREA DE EDICIÓN***

Los tiempos en el proceso de Edición se asumen deterministas, puesto que los editores siempre han culminado la edición de los textos en los tiempos mostrados en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Tiempos de producción de Edición.

Editor	Tiempo que se demora el servidor en editar un libro
Editor 1	24 horas
Editor 2	24 horas
Editor 3	148 horas

Fuente: Gerencia Pedagógica. Informatik Service SAC.

2.- ***ÁREA DE DISEÑO***

Los datos recopilados respecto a los tiempos de producción o servicio de esta área, o simplemente tiempos de diseño por cada servidor, corresponden a una muestra de 4 periodos de producción de los libros del proyecto en análisis (desde el año 2003 hasta el 2009, intercalados cada 2 años).

En la Tabla A1 (Anexo I) se recogen los datos correspondientes a los tiempos de producción de cada diseñador en los cuatro periodos de muestra, tanto antes de enviar sus diseños a corrección, como después de que éstos regresan. Los datos correspondientes al corrector se muestran en la Tabla A2 (Anexo I).

De la información contenida en las Tablas A1 y A2, se procedió a obtener las distintas distribuciones de probabilidad de los tiempos de diseño y corrección, por cada servidor. Para este procedimiento se aplicó la Prueba de Kolmogorov-Smirnov. El detalle de las pruebas de bondad de ajuste realizadas sobre cada diseñador y sobre el corrector, puede encontrarse en el Anexo II.

Los resultados de estas pruebas se muestran en la Tabla 3.4:

Tabla 3.4. Tiempos de producción de Diseño y Corrección.

Servidor	Etapa	Distribución de probabilidad del tiempo de servicio	Parámetro 1		Parámetro 2	
			Tipo de parámetro	Valor	Tipo de parámetro	Valor
Diseñador 1	Antes de corrección	Exponencial	Media	130.04		
	Después de corrección	Normal	Media	20.83	Desviación estándar	2.7767
Diseñador 2	Antes de corrección	Lognormal	Media	97.9	Desviación estándar	12.3616
	Después de corrección	Normal	Media	19.275	Desviación estándar	2.8374
Corrector	Corrección	Normal	Media	21.92	Desviación estándar	4.8380

Fuente: Gerencia Pedagógica. Informatik Service SAC.

Elaboración: Autora de la presente investigación.

3.2.9. Cargas de trabajo en las Áreas de Edición y Diseño

El proyecto de Edición Office 2007 consta de 16 libros, 6 dirigidos a estudiantes de educación primaria y 10 a estudiantes de educación secundaria. El Editor 1 está a cargo de la edición de los libros de primaria, mientras que entre los otros dos editores se encargan de los libros de secundaria.

La asignación de cargas de trabajo para cada editor se resume en la Tabla 3.5:

Tabla 3.5. Cargas de trabajo en el Área de Edición. Proyecto Edición Office 2007

Editor	Carga de trabajo
Editor 1	6 libros
Editor 2	7 libros
Editor 3	3 libros

Fuente: Gerencia Pedagógica. Informatik Service SAC.

En el caso del Área de Diseño; el Diseñador 1 se encarga de todos los libros de primaria, en tanto que el Diseñador 2 se hace cargo de los libros de secundaria.

La asignación de cargas de trabajo para cada diseñador se resume en la Tabla 3.6:

Tabla 3.6. Cargas de trabajo en el Área de Diseño. Proyecto Edición Office 2007

Diseñador	Carga de trabajo
Diseñador 1	6 libros
Diseñador 2	10 libros

Fuente: Gerencia Pedagógica. Informatik Service SAC.

El corrector se encarga de corregir la ortografía, expresión y estilo de los libros de ambos niveles, primaria y secundaria; siendo por tanto, su carga de trabajo durante el proyecto, de 16 libros.

3.2.10. Consecuencias del estado actual de los subsistemas de Edición y Diseño

En las Figuras 3.2, 3.3 y 3.5 observamos que el proceso de producción inicia prácticamente en Edición, sin embargo, cuando se observa la Figura 3.9 y la Tabla 3.3, se aprecia con total claridad dónde se produce el primer cuello de botella del sistema total. Hay un editor al que le toma terminar un libro el mismo tiempo que a los demás les tomaría terminar *más de 6 libros*. Por otra parte, utilizando los salarios como costo de edición (S/. 8.00 por hora trabajada) y los datos de la Tabla 3.5, podemos calcular fácilmente un costo de S/6048.00 por concepto de Edición del proyecto, suma que

comparada con los S/. 3072.00 de costo si el editor que demora más avanzara a la velocidad de los otros dos editores: 24 horas por libro, resulta preocupante, considerando que la dificultad y el esfuerzo demandados en la edición de todos los textos del proyecto son los mismos. Esto se debe en parte a la falta de un manual de procedimientos y de una persona que controle este proceso.

Luego, en las Figuras 3.7, 3.8 y 3.9, y en la Tabla 3.4 se advierte el segundo cuello de botella. Al pasar los libros del proceso de Edición al proceso de Diseño, el tiempo de servicio de ambos diseñadores fluctúa entre las 98 y las 130 horas por libro, lapso que también es alto. Como se mencionó en el planteamiento del problema, los diseñadores reparten su tiempo entre varios proyectos de la empresa, hecho que dificulta su completa concentración en diagramar y corregir los errores de edición. No obstante, los tiempos de los diseñadores, luego de regresar los libros de la corrección, fluctúan entre las 19 y 21 horas por libro; esto se debe en gran medida a que, luego de la corrección, los textos son más manejables y ya casi no presentan errores. Se podría dar más dinamismo al sistema si la corrección se hiciese desde el momento que los libros salen del Área de Edición, de manera que los diseñadores pudiesen completar su carga de trabajo en un menor tiempo, además de las tareas que se les asigna fuera del proyecto Office 2007. Otra ventaja sería que el acabado de los libros presentaría una mejor calidad.

3.2.11. Estrategias para resolver el problema del cuello de botella originado en los procesos de Edición y Diseño

Ante la problemática expuesta en el inciso anterior, se podrían ejecutar las siguientes estrategias de contingencia:

EN EDICIÓN:

(a) Reemplazar al Editor 3, que tiene la menor tasa de producción por otro más veloz y reubicarlo en otra área de la empresa en la que se desempeñe con mayor productividad.

(b) Reubicar en otra área de la empresa y reasignar su carga de trabajo entre los otros dos editores.

(c) Reubicar al servidor en mención en otra área de la empresa y reasignar su carga de trabajo al Editor 2 que domina mejor la edición de los libros de educación secundaria.

EN DISEÑO:

(d) Reformular el proceso de Diseño, asignando al corrector la tarea de corregir los libros que salgan del proceso de Edición y luego corregirlos nuevamente una vez que salgan del proceso de Diseño.

(e) Contratar un nuevo diseñador con una capacidad de trabajo, luego de la corrección, similar a la del Diseñador 2, que es el que registra la mayor tasa promedio de producción; sólo se tomaría en cuenta la media puesto que las desviaciones estándar de ambos diseñadores son estadísticamente la misma.

ESTRATEGIAS DE GESTIÓN:

(f) Elaborar un manual de funciones y procedimientos de las áreas de Edición y Diseño.

(g) Realizar reuniones de trabajo constantes entre el gerente pedagógico y los servidores de ambas áreas a fin de controlar el proceso productivo y retroalimentarlo con mejoras continuas.

(h) Contratar o asignar un personal de control por cada área.

(i) Desarrollar un programa de incentivos por el logro de metas respecto al tiempo y la calidad de la producción.

CAPÍTULO IV

FORMULACIÓN DEL ESCENARIO ALTERNATIVO

4.1. ESTRATEGIAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS A PARTIR DEL ANÁLISIS FODA

Tomando como base la Matriz FODA del inciso 3.2.6 y las estrategias planteadas en el último inciso del capítulo anterior, se puede clasificar a estas últimas en la siguiente Matriz FODA–Estrategia:

	OPORTUNIDADES	AMENAZAS
FORTALEZAS	**Estrategias ofensivas (FO)** (g)	**Estrategias reactivas (FA)** (i)
DEBILIDADES	**Estrategias adaptativas (DO)** (d), (e), (f), (h)	**Estrategias defensivas (DA)** (a), (b), (c)

4.1.1. Preselección de las estrategias alternativas

La mayor preocupación actual de las Gerencia Pedagógica, de Operaciones y de Ventas de la empresa, es ejecutar acciones de emergencia para solucionar el problema de los tiempos de producción del proyecto de Edición 2010 – Office 2007, al mínimo costo; por lo que se inclinarían más hacia estrategias *adaptativas* o *defensivas*.

4.1.2. Análisis y factibilidad de las estrategias preseleccionadas

Las estrategias preseleccionadas son las de los grupos DO y DA.

ESTRATEGIAS DO:

(d) Reformular el proceso de Diseño, asignando al corrector la tarea de corregir los libros que salgan del proceso de Edición y luego corregirlos nuevamente luego del proceso de Diseño.

Una de las oportunidades de los sistemas de Edición y Diseño, es que la Gerencia Pedagógica es flexible a realizar cambios a fin de de mejorar los procesos a su cargo, y dado que esta reformulación no produce ningún costo adicional, es una estrategia factible.

(e) Contratar un nuevo diseñador con una capacidad de trabajo, luego de la corrección, similar a la del Diseñador 2, que es el que registra la mayor tasa promedio de producción.

Los tiempos de diseño de los textos se reducirían en gran medida si se implantara esta estrategia en conjunto con la estrategia anterior, la reducción promedio del tiempo de diseño estaría entre 81% y 84%. Esta reducción se traduciría en un ahorro significativo en los costos de producción en diseño, de este ahorro sería posible pagar el honorario del nuevo diseñador. Luego, esta estrategia es factible si se implanta junto con la estrategia anterior.

(f) Elaborar un manual de funciones y procedimientos de las áreas de Edición y Diseño.

Esta estrategia conlleva en sí misma la solución de una grave falencia en el sistema. Sin embargo, la elaboración de un manual requeriría de tiempo y recursos que no se disponen en el presente, motivo por el cual es muy probable que los decisores se muestren renuentes a su elaboración inmediata o en un futuro cercano, cuando menos hasta que se haya dado solución a los problemas más urgentes. En conclusión, por lo pronto esta estrategia no es factible.

(h) Contratar o asignar un personal de control por cada área.

En este momento todo el personal ya tiene tareas asignadas para el siguiente proyecto además de las que ya están retrasadas, por tanto no es recomendable asignar esta labor a alguien de la empresa, al menos por un tiempo. Por otra parte, por más que se llegase a implementar la estrategia (d), los ahorros no justificarían el sueldo de una persona de control, y más aún, de llegar a implementarse la estrategia mencionada, resulta más beneficioso ejecutarla en conjunto con la estrategia (f) que con la (h). En consecuencia, esta estrategia no es factible.

ESTRATEGIAS DA:

(i) Reemplazar al Editor 3, que tiene la menor tasa de producción por otro más veloz y reubicarlo en otra área de la empresa en la que se desempeñe con mayor productividad

Reemplazar al servidor que realiza más lentamente la edición

implica contratar a un nuevo editor, sin embargo es más beneficioso reasignar su carga de trabajo entre los demás editores que contratar uno nuevo, puesto que los otros editores trabajan a una velocidad de producción equivalente al 16% de la velocidad del Editor 3. A ese porcentaje es más barato reasignar su carga que contratar otro editor. Por tanto, esta estrategia no es factible.

(a) Reubicar al servidor de tasa de servicio más lenta en edición, en otra área de la empresa y reasignar su carga de trabajo entre los otros dos editores.

Esta estrategia es factible, pero en términos de resultados es incierta. Al reasignar parte de la carga de este servidor al Editor 1, se estaría apostando por una alternativa sin fundamento debido a que este último está especializado en la edición de textos de nivel primaria, por lo que tendría que pasar un periodo de adaptación para dominar bien los temas de secundaria. Además, los tiempos deterministas de producción para cada editor se basan en la realidad actual, con lo que si se intenta simular un escenario donde el Editor 1 edita libros de secundaria, este valor se modificaría, sin tener opción de verificiarlo porque nunca ha realizado tal labor.

(b) Reubicar al servidor con menor tasa de servicio de edición, en otra área de la empresa y reasignar su carga de trabajo al Editor 2, que domina mejor la edición de los libros de educación secundaria.

En contraparte, esta estrategia es factible y además se cuenta con el tiempo de edición de textos de secundaria del Editor 2, que está familiarizado con ese nivel. En ese sentido se tiene una certeza del 100% respecto a los tiempos de producción que se pueden esperar al aplicar esta estrategia.

4.2. ESCENARIO ALTERNATIVO

4.2.1. Formulación del Escenario Alternativo

Del análisis realizado en la sección 4.1, se deduce que el escenario alternativo o conjunto de estrategias a ser evaluado, está conformado por un mix de estrategias DO y DA, que son: (c), (d) y (e). Con esto se percibe que los objetivos inmediatos del sistema son primordialmente prevenir los cambios en su entorno, dejando de lado, al menos por el momento, la consolidación de su armonía interna (tercer imperativo funcional de un sistema).

De este modo, el escenario alternativo seleccionado es:

- *Reubicar al Editor 3, que presenta la tasa más lenta de servicio, en otra área de la empresa y reasignar su carga de trabajo al Editor 2, que domina mejor la edición de los libros de educación secundaria;*

- *Reformular el proceso de Diseño, asignando al corrector la tarea de corregir los libros que salgan del proceso de Edición y luego corregirlos nuevamente una vez que salgan del proceso de Diseño; y*

- *Contratar un nuevo diseñador con una capacidad de trabajo, después de la corrección, similar al del diseñador 2, que es el que registra la menor media en cuanto al tiempo de servicio. Sólo se tomaría en cuenta la media puesto que las desviaciones estándar de ambos diseñadores son estadísticamente iguales.*

4.2.2. Flujograma del Escenario Alternativo

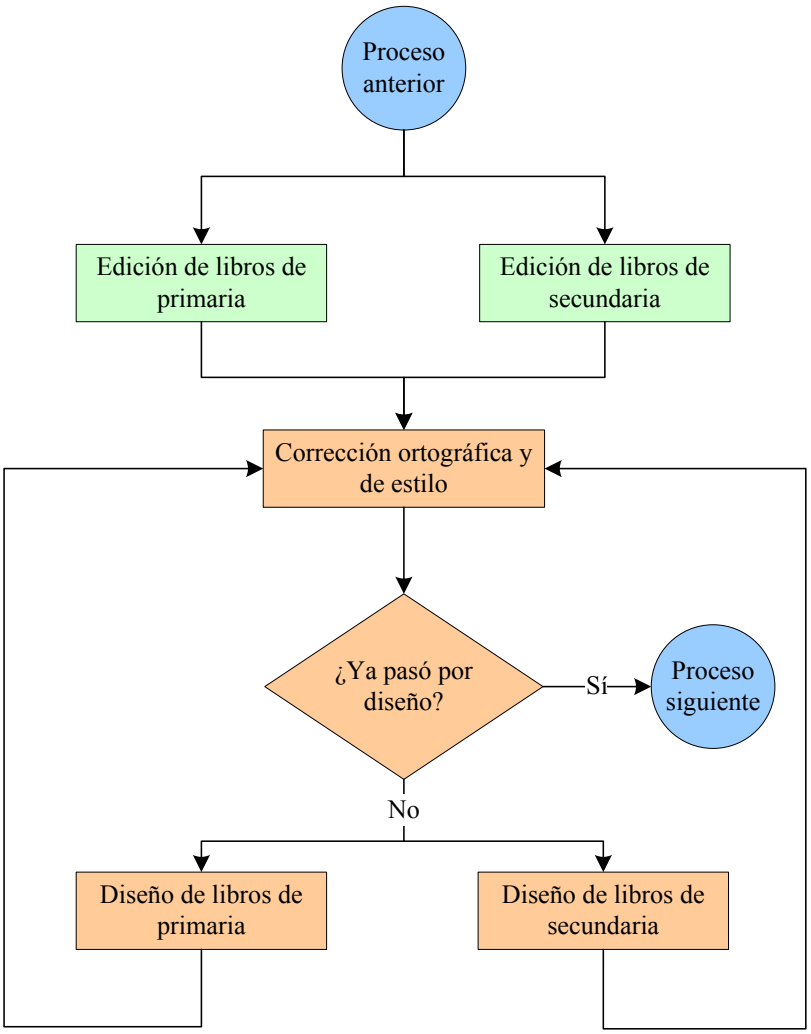


Figura 3.12. Diagrama de flujo del Escenario Alternativo.

Como se observa, en comparación con el flujo actual del sistema de Edición y Diseño (Figura 3.5), el flujo del escenario alternativo reformula el proceso de Diseño en un sistema retroalimentado, donde la corrección, y por ende, el control de la calidad de los textos producidos, es eficiente.

CAPÍTULO V

EVALUACIÓN DEL ESCENARIO ALTERNATIVO

5.1. MODELO DE SIMULACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE EDICIÓN Y DISEÑO

Dado que la muestra a simular no es otra que la misma cantidad de textos a ser producidos, el cual es un valor determinista; la simulación del sistema actual, tanto como del escenario alternativo será *terminal*.

5.1.1. Entidades permanentes, recursos o locaciones

Según la descripción hecha del sistema de Edición y Diseño, se identifican 6 *locaciones*:

1. Editor 1
2. Editor 2
3. Editor 3
4. Diseñador 1
5. Diseñador 2
6. Corrector

5.1.2. Entidades temporales

En el software ProModel, las entidades temporales son reconocidas simplemente con la denominación de *entidades*. Se identifican 2 entidades principales y dos entidades auxiliares:

ENTIDADES PRINCIPALES:

1. Libro de primaria
2. Libro de secundaria

ENTIDADES AUXILIARES:

1. Libro de secundaria en cola para el Editor 2
2. Libro de secundaria en cola para el Editor 3

5.1.3. Atributos

Tipo de entidad	Nombre de la entidad	Atributos
Locación (permanente)	Editor 1	Salario, Nivel primaria, Tiempo de servicio
	Editor 2	Salario, Nivel secundaria, Tiempo de servicio
	Editor 3	Salario, Nivel secundaria, Tiempo de servicio
	Diseñador 1	Salario, Nivel primaria, Tiempo de servicio
	Diseñador 2	Salario, Nivel secundaria, Tiempo de servicio
	Corrector	Salario, Tiempo de servicio
Entidad (temporal)	Libro de primaria	Nivel primaria
	Libro de secundaria	Nivel secundaria
	Libro de secundaria en cola para el Editor 2	Ninguno
	Libro de secundaria en cola para el Editor 3	Ninguno

5.1.4. Actividades

Locación	Entidad	Actividad
Editor 1	Libro de primaria	Edición de textos para la educación primaria
Editor 2	Libro de secundaria	Edición de textos para la educación secundaria
Editor 3	Libro de secundaria	Edición de textos para la educación secundaria
Diseñador 1	Libro de primaria	Diseño de textos para la educación primaria
Diseñador 2	Libro de secundaria	Diseño de textos para la educación secundaria
Corrector	Libro de primaria	Corrección de textos para la educación primaria
Corrector	Libro de secundaria	Corrección de textos para la educación secundaria

5.1.5. Colas

Cola	Locación	Entidades en cola	Posición de la cola
Entrada a Edición 1	Editor 1	Libro de primaria	A la entrada de Editor 1
Entrada a Edición 2	Editor 2	Libro de secundaria en cola para el Editor 2	A la entrada de Editor 2
Entrada a Edición 3	Editor 3	Libro de secundaria en cola para el Editor 3	A la entrada de Editor 3
Entrada a Diseño 1	Diseñador 1	Libro de primaria	Entre Editor 1 y Diseñador 1
Entrada a Diseño 2	Diseñador 2	Libro de secundaria	Entre Editor 2, Editor 3 y Diseñador 2
Entrada a Corrección	Corrector	Libro de primaria, Libro de secundaria	Entre Diseñador 1, Diseñador 2 y Corrector
Salida de Corrección 1	Diseñador 1	Libro de primaria	Entre Corrector y Diseñador 1
Salida de Corrección 2	Diseñador 2	Libro de secundaria	Entre Corrector y Diseñador 2

5.1.6. Flujos

Nº	De la actividad	A la actividad	Entrada		Salida	
			Locación de entrada	Entidad de entrada	Locación de salida	Entidad de salida
1	Edición de textos para la educación primaria	Diseño de textos para la educación primaria	Editor 1	Libro de primaria	Diseñador 1	Libro de primaria
2	Diseño de textos para la educación primaria	Corrección de textos para la educación primaria	Diseñador 1	Libro de primaria	Corrector	Libro de primaria
3	Corrección de textos para la educación primaria	Diseño de textos para la educación primaria	Corrector	Libro de primaria	Diseñador 1	Libro de primaria
4	Edición de textos para la educación secundaria	Diseño de textos para la educación secundaria	Editor 2, Editor 3	Libro de secundaria	Diseñador 2	Libro de secundaria
5	Diseño de textos para la educación secundaria	Corrección de textos para la educación secundaria	Diseñador 2	Libro de secundaria	Corrector	Libro de secundaria
6	Corrección de textos para la educación secundaria	Diseño de textos para la educación secundaria	Corrector	Libro de secundaria	Diseñador 2	Libro de secundaria

5.1.7. Implementación del Modelo en ProModel

La implementación del modelo que describe al sistema actual en ProModel consideró los costos y tiempos de producción, así como los elementos inherentes al modelo que se han descrito en los incisos anteriores. La Figura 5.1 ilustra la formulación del procesamiento del modelo a ser simulado.

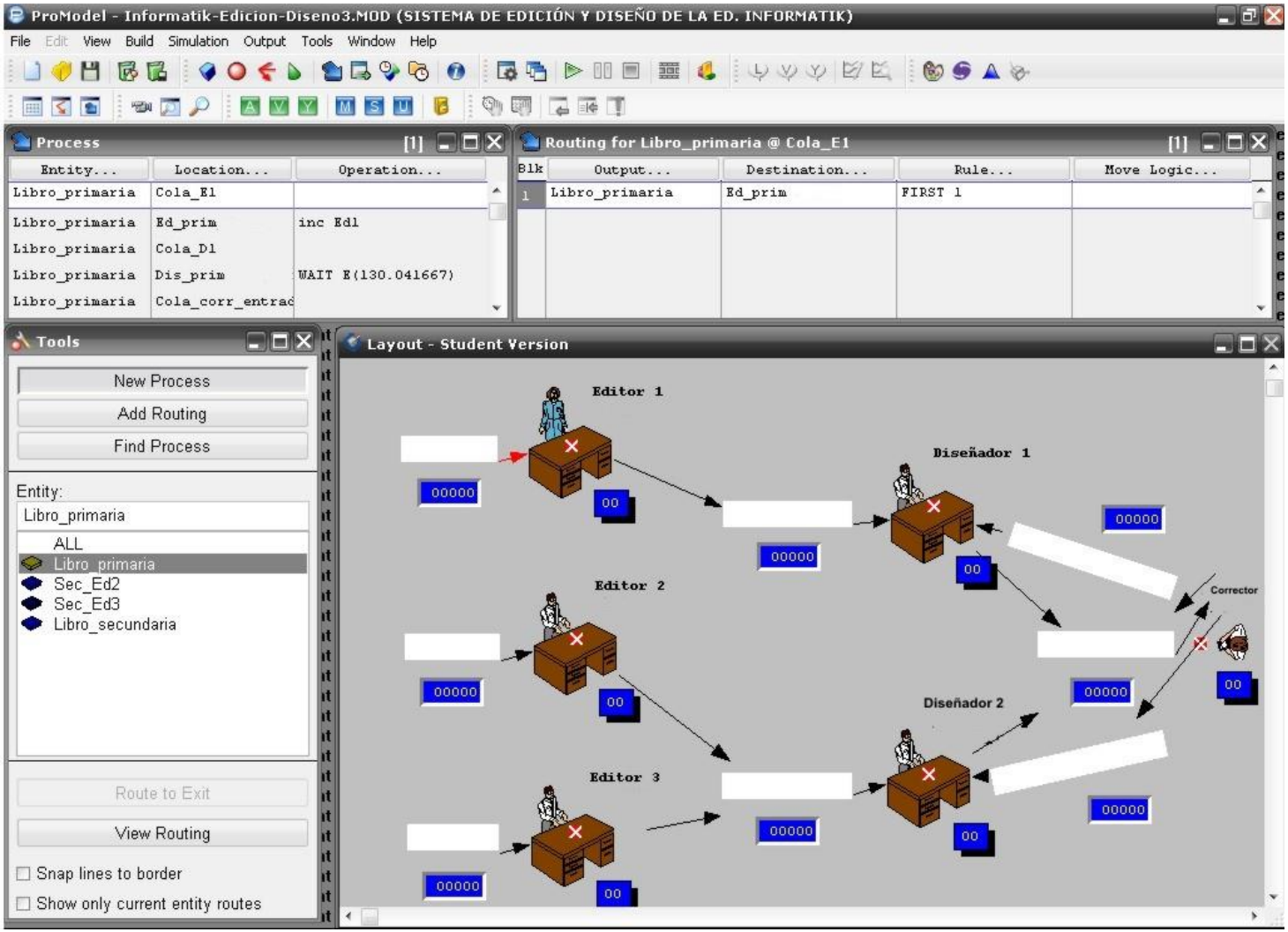


Figura 5.1. Modelamiento de los procesos del sistema actual en ProModel.

5.1.8. Diseño del Experimento

El tamaño de la muestra a simular es *n* = 16 libros.

Se realizó una corrida de 10 réplicas como muestra piloto. Los resultados que arrojó el ProModel se muestran en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Reporte de ProModel para una muestra piloto de 10 réplicas (Modelo del Sistema Actual)

Réplicas	Costo total del proyecto	Tiempo de operación del proyecto (en horas)	Costo promedio del proyecto por hora de operación (Soles/Hora)
1	S/. 12.030,74	1178,45	S/. 10,21
2	S/. 12.347,66	1117,46	S/. 11,05
3	S/. 13.021,67	1230,12	S/. 10,59
4	S/. 12.594,48	1241,54	S/. 10,14
5	S/. 12.819,20	1199,24	S/. 10,69
6	S/. 12.662,15	1220,89	S/. 10,37
7	S/. 13.592,95	1245,07	S/. 10,92
8	S/. 13.842,57	1342,5	S/. 10,31
9	S/. 12.219,59	1212,13	S/. 10,08
10	S/. 14.023,62	1402,07	S/. 10,00

Los estadígrafos de orden de esta muestra piloto, tomando como variable de interés al costo promedio del proyecto por hora de operación, son:

- Media: S/. 10.44
- Desviación estándar: 0.35991318

Tomando α = 0.05, como el nivel de significancia deseado para los resultados de la simulación, entonces:

$$t_{N-1}(1-\alpha/2) = t_9(0.975) = 2.26215716$$

Luego obtenemos el siguiente intervalo de confianza:

$$\bar{x} \pm t_{N-1}(1-\alpha/2)\sqrt{\frac{s^2}{N}} = 10.44 \pm 0.26$$

Es decir, el error al tener 10 réplicas es de S/. 0.26, dentro de un rango de S/. 0.52.

Para asegurar que los resultados de la simulación sean representativos de lo que sucedería en la realidad si la situación actual persiste en el futuro, se tomará un error de S/. 0.05; es decir, $e = S/.0.05$.

Para esto, se formula el siguiente artificio:

$$t_{N-1}(1-\alpha/2)\sqrt{\frac{s^2}{i}} = t_9(1-0.025)\sqrt{\frac{0.35991318^2}{i}} \leq 0.05$$

Por prueba y error obtenemos que se requieren 201 réplicas para asegurar un error de S/. 0.05 dentro de un rango de S/. 0.10. (Ver Tabla A5, Anexo IV).

Por otro lado tenemos que los resultados obtenidos de la muestra piloto se encuentran dentro del rango de los valores observados, por lo que se puede concluir que el modelo es válido.

5.1.9. Resultados

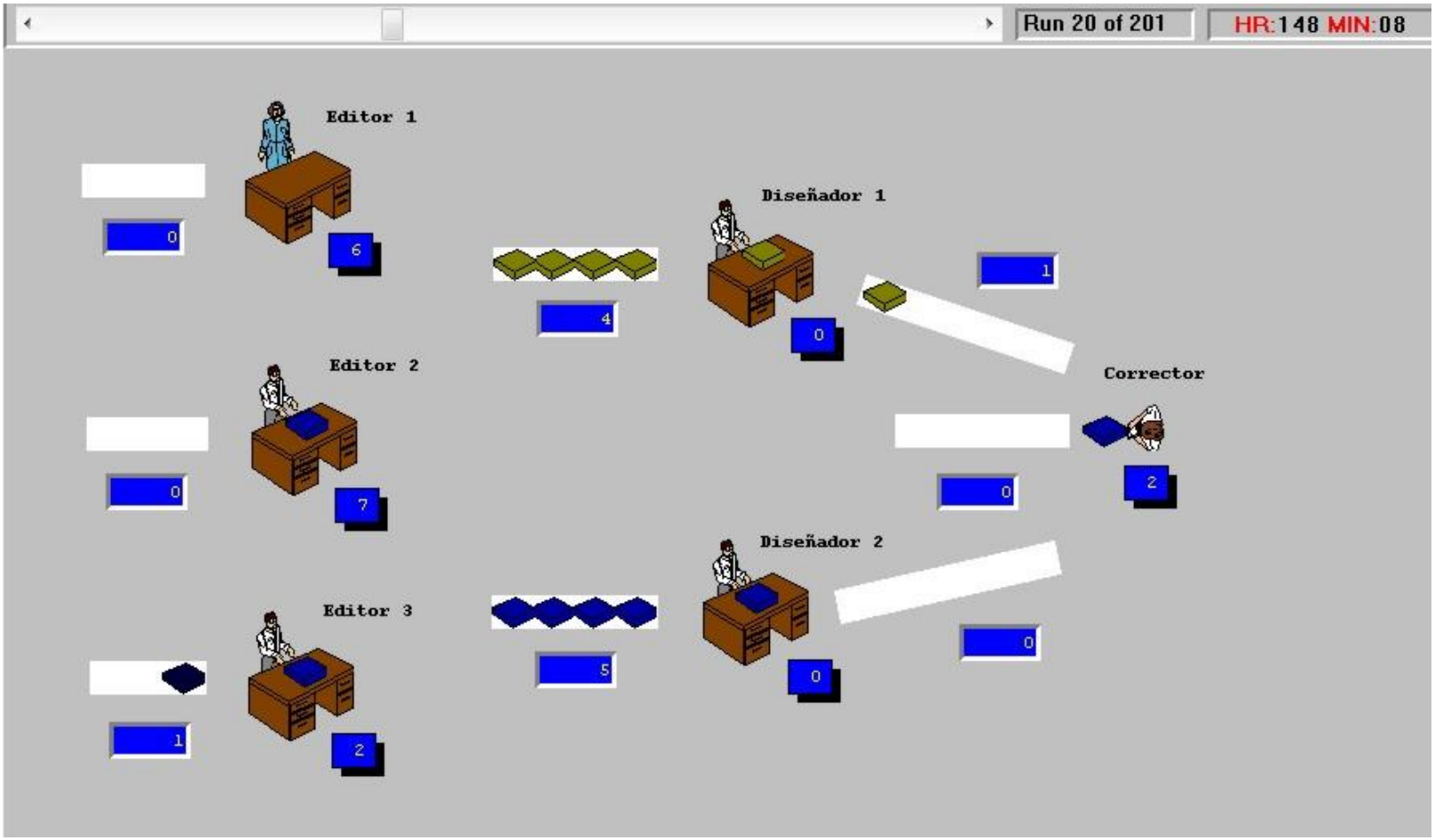


Figura 5.2. Simulación del modelo del sistema actual con ProModel.

En la Figura 5.2 se muestra un extracto de la simulación realizada sobre el modelo del sistema actual de Edición y diseño.

Luego de las 201 réplicas, se obtuvo un tiempo promedio de finalización del proyecto de 1227.06 horas, es decir, 6.4 meses, aproximadamente.

Los reportes de los costos de producción generados por ProModel se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 5.2. Reporte de Costos de Producción por locaciones.
ProModel. Sistema Actual.

Locación	Costo de Operación	% del Costo Total de Operación
Editor 1	S/. 1152.00	9.19
Editor 2	S/. 1344.00	10.72
Editor 3	S/. 3552.00	28.33
Diseñador 1	S/. 2505.15	19.60
Diseñador 2	S/. 3348.99	26.71
Corrector	S/. 682.93	5.45
TOTAL	**S/. 12585,07**	**100,00**

Tabla 5.3. Reporte de Costos de Producción por entidades.
ProModel. Sistema Actual.

Entidad	Salidas Explícitas	Costo total	Costo de producir un libro	% Costo total
Libro primaria	6	S/. 3834.86	S/. 639.14	29.90
Libro secundaria	10	S/. 8750.21	S/. 875.02	70.10
TOTAL	**16**	**S/. 12585.07**		**100.00**

Como se observa en los reportes de ProModel, el mayor porcentaje del costo de operación del proyecto en el sistema actual se concentra en el Editor 3 (28.33%). Por otra parte, se tiene un porcentaje muy similar para el Diseñador 2 (26.71%). Sin embargo, produce 10 libros, mientras que el Editor 3, que posee la menor tasa de servicio, produce sólo 3.

El costo medio de producción por hora trabajada bajo el sistema actual es:

$$\frac{\text{Costo total de producción}}{\text{Tiempo total de producción}} = \frac{\text{S/. } 12585.07}{1227.06 \text{ horas}} = \text{S/. } 10.26 / \text{hora}$$

5.2. MODELO DE SIMULACIÓN DEL ESCENARIO ALTERNATIVO

5.2.1. Entidades permanentes, recursos o locaciones

Según la formulación del escenario alternativo, se identifican 6 *locaciones*:

1. Editor 1
2. Editor 2
3. Diseñador 1
4. Diseñador 2
5. Corrector
6. Diseñador 3

5.2.2. Entidades temporales

ENTIDADES PRINCIPALES:

1. Libro de primaria
2. Libro de secundaria

ENTIDADES AUXILIARES:

1. Libro de primaria en cola para el Diseñador 1

2. Libro de primaria en cola para el Diseñador 3
3. Libro de secundaria en cola para el Diseñador 2
4. Libro de secundaria en cola para el Diseñador 3

5.2.3. Atributos

Tipo de entidad	Nombre de la entidad	Atributos
Locación (permanente)	Editor 1	Salario, Nivel primaria, Tiempo de servicio
	Editor 2	Salario, Nivel secundaria, Tiempo de servicio
	Diseñador 1	Salario, Nivel primaria, Tiempo de servicio
	Diseñador 2	Salario, Nivel secundaria, Tiempo de servicio
	Diseñador 3	Salario, Nivel primaria, Nivel secundaria, Tiempo de servicio
	Corrector	Salario, Tiempo de servicio
Entidad (temporal)	Libro de primaria	Nivel primaria
	Libro de secundaria	Nivel secundaria
	Libro de primaria procesado por el Diseñador 1, en cola para el Corrector	Ninguno
	Libro de primaria procesado por el Diseñador 3, en cola para el Corrector	Ninguno
	Libro de secundaria procesado por el Diseñador 2, en cola para el Corrector	Ninguno
	Libro de secundaria procesado por el Diseñador 3, en cola para el Corrector	Ninguno

5.2.4. Actividades

Locación	Entidad	Actividad
Editor 1	Libro de primaria	Edición de textos para la educación primaria
Editor 2	Libro de secundaria	Edición de textos para la educación secundaria
Diseñador 1	Libro de primaria	Diseño de textos para la educación primaria
Diseñador 2	Libro de secundaria	Diseño de textos para la educación secundaria
Diseñador 3	Libro de primaria	Diseño de textos para la educación primaria
Diseñador 3	Libro de secundaria	Diseño de textos para la educación secundaria
Corrector	Libro de primaria	Corrección de textos para la educación primaria
Corrector	Libro de secundaria	Corrección de textos para la educación secundaria

5.2.5. Colas

Cola	Locación	Entidades en cola	Posición de la cola
Entrada a Edición 1	Editor 1	Libro de primaria	A la entrada de Editor 1
Entrada a Edición 2	Editor 2	Libro de secundaria	A la entrada de Editor 2
Entrada a Corrección	Corrector	Libro de primaria, Libro de secundaria	Entre Editor 1, Editor 2 y Corrector
Entrada a Diseño 1	Diseñador 1	Libro de primaria	Entre Corrector y Diseñador 1
Entrada a Diseño 2	Diseñador 2	Libro de secundaria	Entre Corrector y Diseñador 2
Entrada a Diseño 3	Diseñador 3	Libro de primaria, Libro de secundaria	Entre Corrector y Diseñador 3

Salida a Corrección 1	Corrector	Libro de primaria procesado por el Diseñador 1, en cola para el Corrector	Entre Corrector y Diseñador 1
Salida a Corrección 2	Corrector	Libro de secundaria procesado por el Diseñador 2, en cola para el Corrector	Entre Corrector y Diseñador 2
Salida a Corrección 3	Corrector	Libro de primaria procesado por el Diseñador 3, en cola para el Corrector; Libro de secundaria procesado por el Diseñador 3, en cola para el Corrector	Entre Corrector y Diseñador 3

5.2.6. Flujos

Nº	De la actividad	A la actividad	Entrada		Salida	
			Locación de entrada	Entidad de entrada	Locación de salida	Entidad de salida
1	Edición de textos para la educación primaria	Corrección de textos para la educación primaria	Editor 1	Libro de primaria	Corrector	Libro de primaria
2	Corrección de textos para la educación primaria	Diseño de textos para la educación primaria	Corrector	Libro de primaria	Diseñador 1, Diseñador 3	Libro de primaria
3	Diseño de textos para la	Corrección de textos para la	Diseñador 1, Diseñador	Libro de primaria	Corrector	Libro de primaria procesado por el Diseñador 1, en

	educación primaria	educación primaria	3			cola para el Corrector; Libro de primaria procesado por el Diseñador 3, en cola para el Corrector
4	Edición de textos para la educación secundaria	Corrección de textos para la educación secundaria	Editor 2	Libro de secundaria	Corrector	Libro de secundaria
5	Corrección de textos para la educación secundaria	Diseño de textos para la educación secundaria	Corrector	Libro de secundaria	Diseñador 2	Libro de secundaria
6	Diseño de textos para la educación secundaria	Corrección de textos para la educación secundaria	Diseñador 2, Diseñador 3	Libro de secundaria	Corrector	Libro de secundaria procesado por el Diseñador 2, en cola para el Corrector; Libro de secundaria procesado por el Diseñador 3, en cola para el Corrector

5.2.7. Implementación del Modelo en ProModel

La implementación del modelo que describe al sistema alternativo en ProModel consideró los costos y tiempos de producción, así como los elementos inherentes al modelo que se han descrito en los incisos anteriores. La Figura 5.3 ilustra la formulación del procesamiento del modelo a ser simulado.

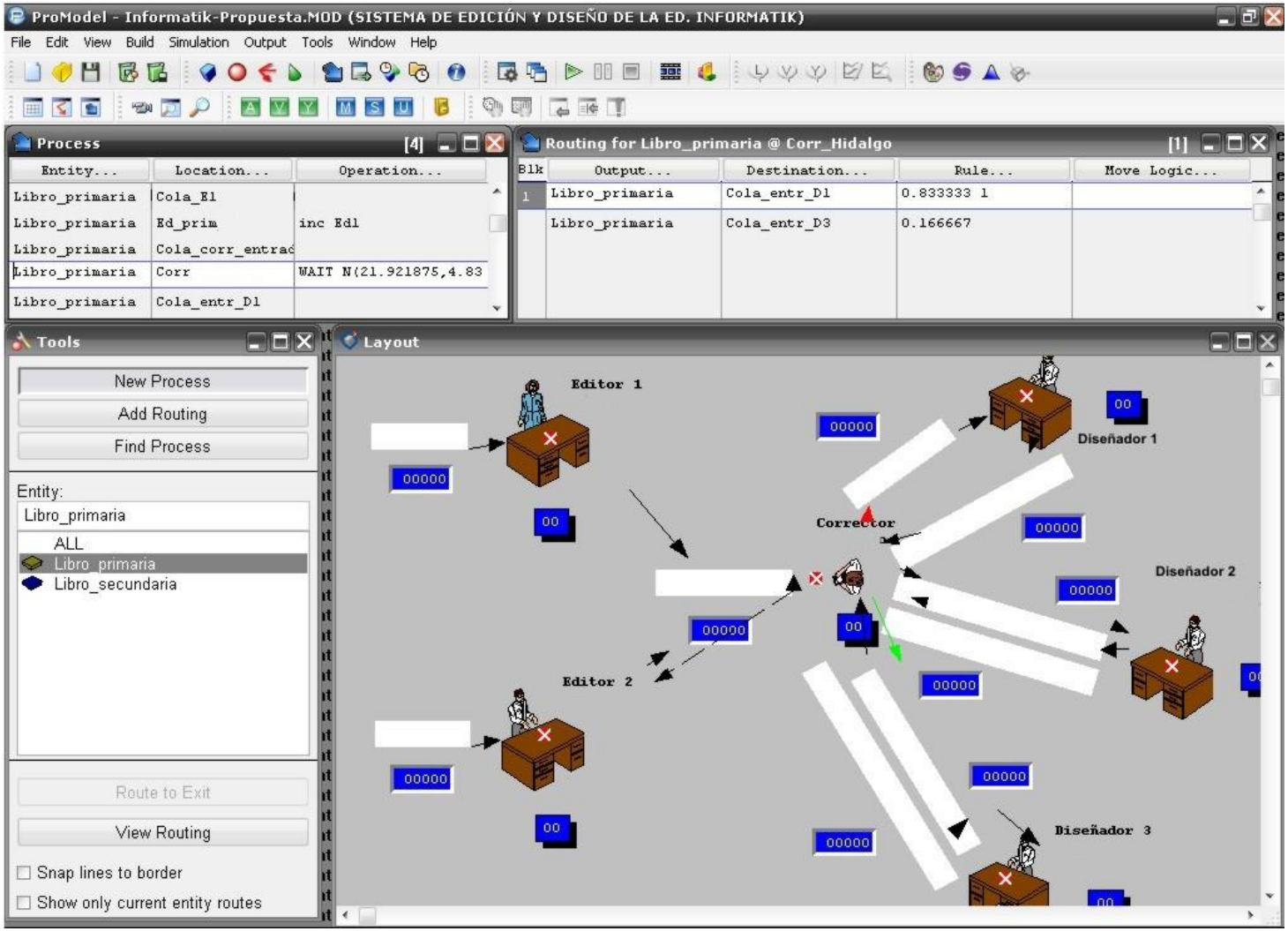


Figura 5.3. Modelamiento de los procesos del escenario alternativo en ProModel.

5.2.8. Diseño del Experimento

El tamaño de la muestra a simular es, *n* = 16 libros.

Se realizó una corrida de 10 réplicas como muestra piloto. Los resultados que arrojó el ProModel se muestran en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Reporte de ProModel para una muestra piloto de 10 réplicas (Modelo del Escenario Alternativo)

Réplicas	Costo total	Tiempo de operación (en horas)	Costo promedio del proyecto por hora de operación (Soles/Hora)
1	S/. 5218.20	698.85	S/. 7.47
2	S/. 5326.54	714.25	S/. 7.46
3	S/. 5386.39	733.11	S/. 7.35
4	S/. 5433.79	741.67	S/. 7.33
5	S/. 5484.52	785.75	S/. 6.98
6	S/. 5349.86	721.78	S/. 7.41
7	S/. 5316.85	707.67	S/. 7.51
8	S/. 5229.93	681.28	S/. 7.68
9	S/. 5347.73	714.91	S/. 7.48
10	S/. 5202.10	663.07	S/. 7.85

Los estadígrafos de orden de esta muestra piloto, tomando como variable de interés el costo promedio del proyecto por hora de operación, son:

- Media: S/. 7.45
- Desviación estándar: 0.22636726

Tomando α = 0.05, como el nivel de significancia deseado para los resultados de la simulación, entonces:

$$t_{N-1}(1-\alpha/2) = t_9(0.975) = 2.26215716$$

Luego obtenemos el siguiente intervalo de confianza:

$$\bar{x} \pm t_{N-1}(1-\alpha/2)\sqrt{\frac{s^2}{N}} = 7.45 \pm 0.16$$

Es decir, el error al tener 10 réplicas es de S/. 0.16, dentro de un rango de S/. 0.32.

Para asegurar que los resultados de la simulación sean representativos de lo que sucedería en la realidad si la situación actual persistiera en el futuro, se tomará un error de S/. 0.05; es decir, $e = S/.0.05$.

Para esto, se formula el siguiente artificio:

$$t_{N-1}(1-\alpha/2)\sqrt{\frac{s^2}{i}} = t_9(1-0.025)\sqrt{\frac{0.22636726^2}{i}} \leq 0.05$$

Por prueba y error obtenemos que se requieren 81 réplicas para asegurar un error de S/. 0.05 dentro de un rango de S/. 0.10. (Ver Tabla A6, Anexo V).

5.2.9. Resultados

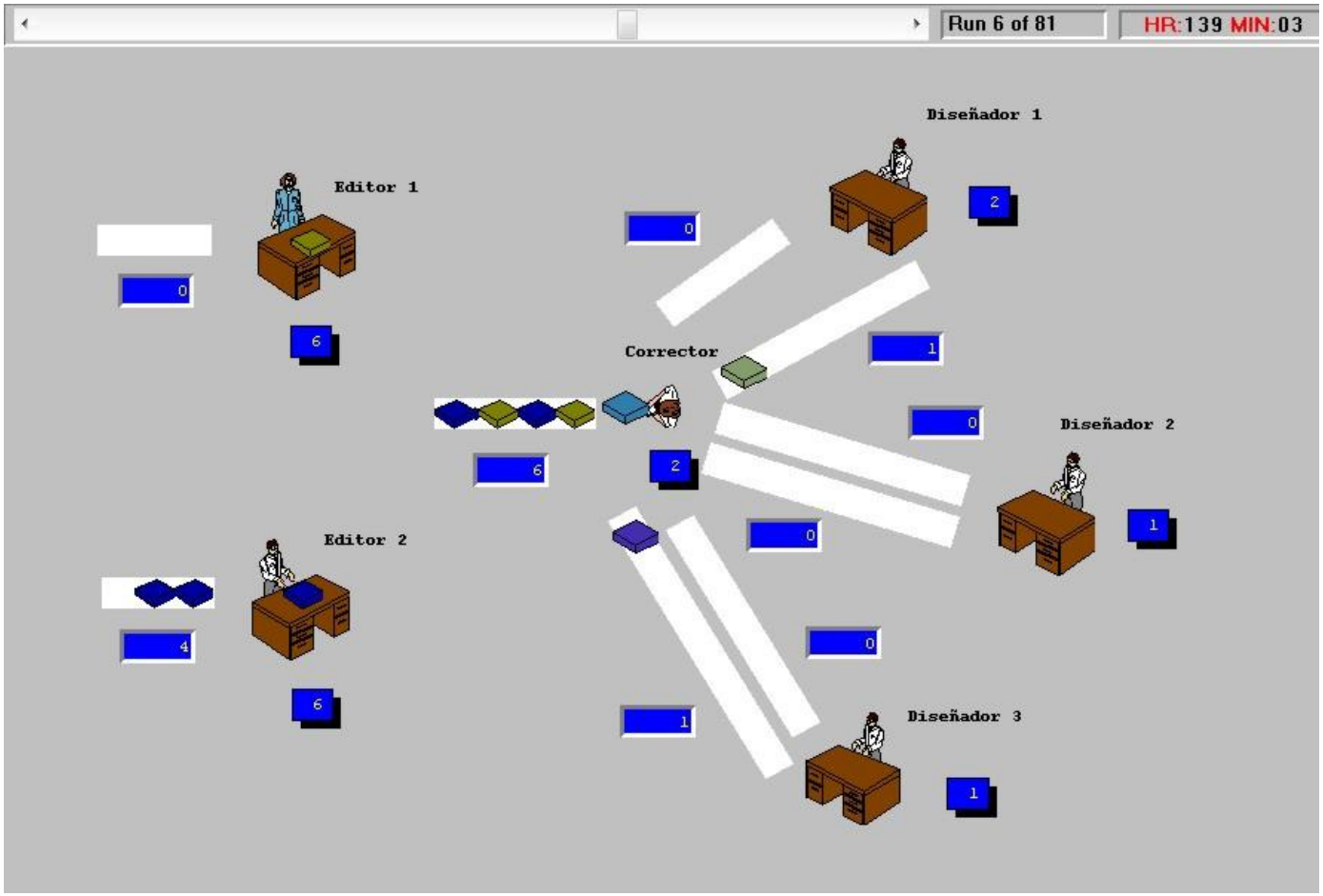


Figura 5.4. Simulación del modelo del escenario alternativo con ProModel.

En la Figura 5.4 se muestra un extracto de la simulación realizada sobre el modelo del escenario alternativo de edición y diseño.

Luego de las 81 réplicas, se obtuvo un tiempo promedio de finalización del proyecto de 723.02 horas (3.8 meses, aproximadamente).

Los reportes de los costos de producción generados por ProModel se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 5.5. Reporte de Costos de Operación por locaciones.
ProModel. Escenario Alternativo.

Locación	Costo de Operación	% del Costo Total de Operación
Editor 1	S/. 1152.00	21.57
Editor 2	S/. 1920.00	35.94
Diseñador 1	S/. 296.31	5.54
Diseñador 2	S/. 345.58	6.47
Diseñador 3	S/. 266.93	5.00
Corrector	S/. 1361.51	25.48
TOTAL	**S/. 5342,35**	**100,00**

Tabla 5.6. Reporte de Costos de Producción por entidades.
ProModel. Escenario Alternativo.

Entidad	Salidas Explícitas	Costo total	Costo de producir un libro	% Costo total
Libro primaria	6	S/. 2014.82	S/. 335.80	37.71
Libro secundaria	10	S/. 3327.53	S/. 332.75	72.29
TOTAL	**16**	**S/. 5342.35**		**100.00**

El costo medio de producción por hora trabajada bajo el escenario alternativo es:

$$\frac{\text{Costo total de producción}}{\text{Tiempo total de producción}} = \frac{\text{S/. } 5342.35}{723.02 \text{ horas}} = \text{S/. } 7.39 / \text{hora}$$

5.3. COMPARACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

De los reportes generados por ProModel observamos que con el escenario alternativo, el costo total de producción se reduce en un 57.55 %, es decir, más de la mitad que con el sistema de trabajo actual. Asimismo, se tiene que el tiempo total de producción se reduce en un 40.63 % que, como en el caso de los costos, es casi la mitad del tiempo transcurrido con el sistema actual.

Finalmente, el costo medio de producción por hora trabajada del sistema actual, S/. 10.26 por hora, se ve minimizado a un costo medio de S/. 7.39 por hora en el sistema alternativo, es decir, la reducción es de un 27.98 %.

RESULTADO FINAL:

Implementar el Escenario Alternativo en el Sistema de Edición y Diseño de Informatik Service SAC, que consiste en tener solo dos servidores en el área de edición y 3 servidores en el área de diseño, con un solo corrector. Primero se elabora un plan de trabajo para las dos áreas, dándoles a conocer sus funciones mediante un manual de procedimientos. Luego el proceso de elaboración de libros se inicia en edición, donde el gerente y los editores se reunirán semanalmente para dar informe sobre los avances de los libros y corregir las fallas o errores que se encuentran en los textos. Luego de que un editor termine un libro, este libro pasa a corrección mediante el corrector de estilos. Al salir el libro de corrección, entra al área de diseño, luego de la diagramación del libro, regresa a ser corregido por el corrector de estilos. Finalmente, luego de la corrección, pasa al diseñador y sale del proceso de diseño a los siguientes procesos.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- ✓ Con la ayuda de la simulación de sistemas se logró minimizar el costo medio de producción de las áreas de Edición y Diseño en un 27.98 %.

- ✓ La simulación de sistemas, es una herramienta adecuada de Investigación Operativa para minimizar los tiempos de producción, en el caso analizado en este trabajo de investigación.

- ✓ Se verifica una vez más que la simulación de sistemas es una herramienta eficiente y confiable para la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre.

- ✓ La simulación de sistemas, con el apoyo del software ProModel V.7.0, demostró ser una herramienta de análisis sencilla y entendible para cualquier usuario.

6.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Implementar en el futuro medio las estrategias de gestión planteadas en el análisis FODA en el presente estudio (elaboración de un manual de funciones y procedimientos del las áreas de Edición y Diseño, realización de reuniones constantes entre la Gerencia Pedagógica y los servidores de las áreas, asignación de

personal de control por cada área e implementación de un programa de incentivos por el logro de metas).

- ✓ Además del análisis hecho en esta investigación, se recomienda realizar un análisis de pronósticos para las áreas estudiadas, con el objeto de monitorear el sistema para producir mejoras continuas.

BIBLIOGRAFÍA

1. BARCELÓ, Jaime. "**Simulación de Sistemas Discretos**". Publicaciones de Ingeniería de Sistemas. Editorial ISDEFE. Barcelona. España. 1996.

2. GUASCH, A.; PIERA, M.A.; CASANOVAS, J. y FIGUERAS, J. "**Modelado y simulación. Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios**". Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL, Barcelona, Secunda Edició. 2003.

3. HOEGER, Herbert. "**Notas del curso de Simulación**". Universidad de los Andes. Venezuela. Internet. 16 de noviembre de 2009. Disponible en: http://www.ing.ula.ve/~hoeger/

4. LLICÁN Calderón, José Augusto. "**Simulación de sistemas. Caso: Servicentro de combustible**", Tesis digitales – Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. Perú. Internet. 16 de noviembre de 2009. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/Basic/llican_cj/cap3.pdf

5. MALAVER Muñoz, Marco Antonio. "**Mejoramiento de Procesos en una Empresa de Servicios Mediante el Uso de la Simulación de Sistemas**", Tesis para optar el Título Profesional de Investigación de Operaciones y Sistemas. Facultad de Ciencias Matemáticas – Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. Perú. 2002.

6. MITACC, Máximo. "**Tópicos de Inferencia estadística**". Segunda Edición. Editorial Thales. Lima. Perú. 1999.

7. Monografía. "**Diagrama de causa-efecto**". Internet. 22 de octubre de 2009. disponible en: http://www.monografias.com/trabajos42/diagrama-causa-efecto/diagrama-causa-efecto.shtml

8. Muñoz Soto, David A. **"Aplicación De Simulación Discreta Para Un Sistema De Logística Militar Basado En Casos Históricos De La Segunda Guerra Mundial",** Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil Industrial, Facultad de Ingeniería-depto. Ingeniería Industrial-Universidad Bío-Bío. Concepción. Chile. 2009

9. PROMODEL Corporation. "**ProModel 7.0 Student Version**". Internet. 22 de octubre de 2009. Disponible en: http://www.promodel.com

10. SCHMIDT, J.W.; TAYLOR, R.E. "**Análisis y Simulación de Sistemas Industriales**". Primera Edición. Editorial Trillas. México. 1979.

11. SHANNON, Robert E. "**Simulación de Sistemas**". Segunda Edición. Editorial Trillas. México. 1988.

12. SOCIEDAD NACIONAL DE INDUSTRIAS. "**Importación y representación de software para el uso industrial**". Internet. 16 de noviembre de 2009. Disponible en: http://www.sni.org.pe

13. WINSTON, Wayne L. "**Investigación de Operaciones**". Editorial Iberoamericana. México D.F. 1994.

GLOSARIO

Capturas: son aquellas imágenes que son obtenidas de la computadora con la selección de una ventana activa y el uso de un combinado de teclas que son: Impr paint Petsis + Alt, luego de ello se dispone a pegar la imagen en algún programa.

Corrección de los libros: es la corrección de la ortografía, la secuencia de los temas, la secuencia de los ejercicios elaborados en el libro, las imágenes, entre otros.

CTP: parte del proceso de elaboración de fotolitos que comprende desde la filmación en las planchas de piedra litográfica hasta la insolación en las placas de impresión.

Cuello de Botella: es la zona o conjunto de áreas en las cuales se concentra el problema de todo un sistema, ya sea como: retrasos, largas colas de espera, entre otras.

Diseño: es el área en la que un grupo de personas elaboran los libros mediante el programa Corel Draw X3 por medio del cual se elaboran gráficos, imágenes, textos artísticos.

Edición: es el área donde un grupo de personas elaboran los libros por medio del procesador de texto Microsoft Word.

Encapsulados: se refiere a los archivos de los libros elaborados por el área de diseño en el programa Corel Draw X3 y están guardados en un dispositivo de almacenamiento como el USB.

Entidades auxiliares: son entidades temporales que sirven de *etiqueta*, para identificar a una entidad principal cuando ésta requiere algún tipo de diversificación.

Entidades principales: son las entidades temporales cuyo flujo en el sistema es el objeto de estudio que motivó la simulación.

Estructuración: se refiere a que los temas de cada programa que se enseña en el libro deben de tener un nivel inicial, intermedio y avanzado.

Fotolito: es una estampa obtenida al reproducir los diseños en una plancha de piedra litográfica, mediante la acción química de la luz sobre sustancias convenientemente preparadas.

Insolación: calentamiento por acción de la luz sobre las placas de CTP.

Machote: modelo a ser utilizado para la elaboración de un libro.

Manual de Procedimientos: es un documento en el cual se encuentran los pasos a seguir para realizar un proceso.

Offset: Procedimiento de impresión en el que la imagen entintada es traspasada a un rodillo de caucho que, a su vez, la imprime en el papel.

Preprensa: es el proceso de producción que es posterior al proceso de diseño, en el cual tiene como entrada el encapsulado y luego se elaboran las placas las cuales se mandaran a impresión.

Proceso estocástico: Familia de variables aleatorias que corresponden a momentos sucesivos del tiempo.

Réplica, Repetición o Corrida: Ejecución de un proceso independiente de simulación o repetición del mismo, con la finalidad de generar un conjunto de datos de interés. Por lo general en los estudios de simulación se ejecuta una muestra de varias replicaciones o corridas para obtener datos válidos a futuro.

Secuencia de procedimientos: es el conjunto de pasos a seguir para realizar un proceso.

Secuenciación de temas: es el orden de los temas con el cual se elabora un libro de computación.

Semilla: Valor de inicialización dado a un generador de números aleatorios (ecuación recursiva).

Términos básicos: son la terminología que se utiliza para los libros de computación como por ejemplo: reconoce, Elabora; desarrolla, diseña, entre otros términos.

ANEXOS

ANEXO I

TIEMPOS DE PRODUCCIÓN EN EL ÁREA DE DISEÑO

Tabla A1. Tiempos de producción de libros de los diseñadores. Proyectos 2003, 2005, 2007 y 2009. (En horas)

Etapa	Servidor	Proyecto			
		2003	2005	2007	2009
Antes de enviar los diseños a Corrección	Diseñador 2	94	86	100	144
		103	112	96	96
		98	89	102	120
		109	95	97	87
		92	104	96	86
		99	83	91	120
		89	118	98	103
		90	85	94	109
		87	102	82	88
		82	95	99	96
	Diseñador 1	75	84	96	192
		87	83	80	225
		80	74	88	576
		97	72	95	219
		66	88	90	186
		95	81	94	198
Después de que los diseños regresan de Corrección	Diseñador 2	18	17	21	24
		14	16	18	22
		18	19	20	20
		17	18	21	23
		17	19	22	20
		19	18	21	20
		18	17	21	22
		13	18	24	24
		14	17	23	21
		15	18	21	23
	Diseñador 1	20	20	20	24
		19	18	22	26
		16	18	21	23
		18	20	23	25
		15	19	22	23
		21	20	23	24

Fuente: Gerencia Pedagógica, Informatik Service SAC.
Elaboración: Autora de la presente investigación.

Tabla A2. Tiempos de producción de libros del Corrector. Proyectos 2003, 2005, 2007 y 2009. (En horas)

Servidor	Proyecto			
	2003	2005	2007	2009
Corrector	26	22	15	24
	19	27	28	16
	22	22	23	12
	22	16	31	30
	25	21	21	16
	25	24	26	12
	19	22	21	32
	28	23	30	20
	27	23	25	17
	30	18	14	19
	29	22	14	18
	19	19	24	16
	26	24	23	16
	20	20	22	14
	21	25	21	20
	19	25	30	23

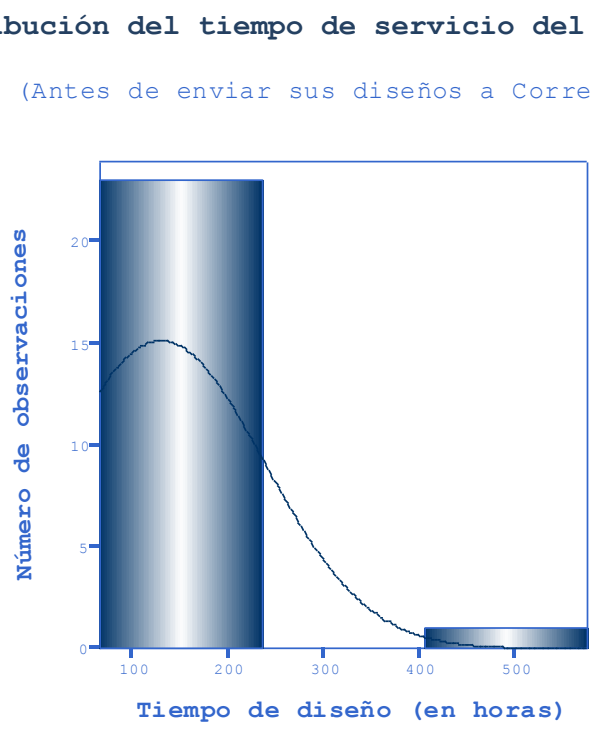
Fuente: Gerencia Pedagógica, Informatik Service SAC.
Elaboración: Autora de la presente investigación.

ANEXO II

PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE DE LAS DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD DE LOS TIEMPOS DE PRODUCCIÓN EN EL ÁREA DE DISEÑO

Para el ajuste de las distribuciones de probabilidad se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov con una confiabilidad α = 0.05.

1. **DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DEL TIEMPO DE SERVICIO DEL DISEÑADOR 1, ANTES DE ENVIAR SUS DISEÑOS A CORRECCIÓN**



Según el histograma de las frecuencias de los tiempos observados, podemos suponer que la distribución de la variable es exponencial. Entonces:

Definimos:

H_0 : *El tiempo de servicio del diseñador 1 antes de enviar sus diseños a corrección, sigue una Distribución Exponencial*

H_1 : *El tiempo de servicio del diseñador 1 antes de enviar sus diseños a corrección, no sigue una Distribución Exponencial*

De los datos de la Tabla A1 (Anexo I), construimos la tabla de frecuencias de la variable observada.

Construcción de la tabla de frecuencias:

Sean x_j, j = 1, 2, …, 24; las observaciones de la variable tiempo de servicio del diseñador 1 antes de enviar sus diseños a corrección, se tienen los siguientes estadígrafos:

- $\min_{1\le j\le 24}\{x_j\} = 66 \text{ horas}$
- $\max_{1\le j\le 24}\{x_j\} = 576 \text{ horas}$
- $\bar{x} = 130.041667 \text{ horas}$
- $Rango = 510 \text{ horas}$

Donde $\bar{x}$ es la media de los datos no agrupados.

Entonces, el número de clases de la tabla, utilizando el método de Sturges, es:

$$n = 1 + 3.322 \log 24 = 5.58506174 \text{ horas}$$

En consecuencia es válido tomar n = 6 horas.

La amplitud del intervalo de clase es entones:

$$a = \frac{Rango}{n} = \frac{510}{6} = 85$$

Con lo que se tendría que los límites superiores de los intervalos de clase son 151, 236, …, 576. Pero, de los datos sin agrupar podemos observar que entre 236 y 576 sólo hay un dato, por lo tanto agrupamos los cuatro últimos intervalos en uno solo. Con lo que la tabla de distribución de frecuencias de la variable en estudio es:

Intervalo de clase	O_i	$f_i(x)$	$F_n(x)$
[66 - 151[	18	0.75000	0.75000
[151 - 236[	5	0.20833	0.95833
[236 - 576]	1	0.04167	1.00000
Total	**24**	**1.00000**	

Donde O_i, i = 1, 2, 3; es la frecuencia absoluta (u observada), $f_i(x)$ es la frecuencia relativa (proporción o probabilidad) y $F_n(x)$ es la frecuencia relativa acumulada (probabilidad acumulada) del intervalo de clase.

Obtención del estadígrafo de contraste:

Se tiene:

Intervalo de clase	O_i	$f_i(x)$	$F_n(x)$	$F(x)$	$\lvert F_n(x) - F_i(x) \rvert$
[66 - 151[	18	0.75000	0.75000	0.68688	0.06312
[151 - 236[	5	0.20833	0.95833	0.83713	**0.12120**
[236 - 576]	1	0.04167	1.00000	0.98808	0.01192
Total	**24**	**1.00000**			

Donde $F(x)$ es el valor de la distribución exponencial acumulada para el extremo superior del intervalo de clase que se está evaluando.

Entonces, el estadígrafo de contraste es: $D_n = \max\left|F_n(x) - F(x)\right| = 0.12120$

Prueba de la hipótesis:

El límite aceptable de la prueba de Kolmogorov-Smirnov es, para este caso:

$$D_{0.05}(24) = 0{,}2576$$

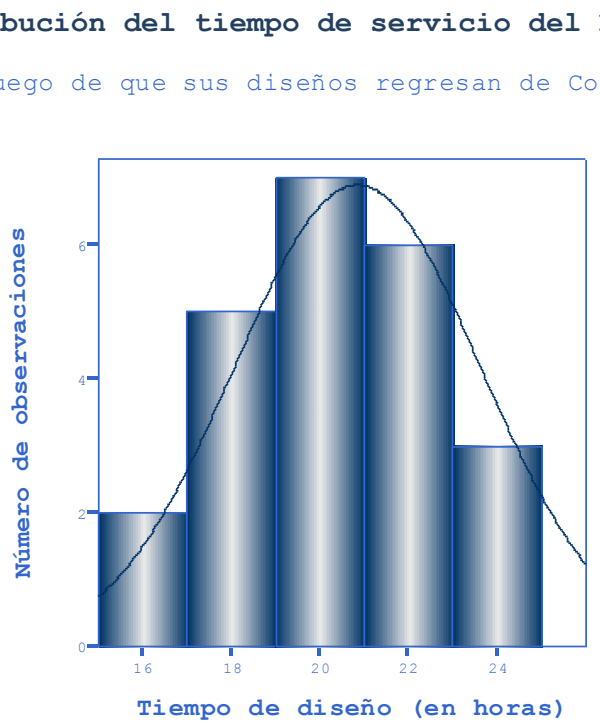
Como: $D_n = 0.1212 < 0{,}2576 = D_{0.05}(24)$, ENTONCES SE ACEPTA H_0, es decir, el tiempo de servicio del diseñador 1 antes de enviar sus diseños a corrección, sigue una Distribución Exponencial.

Con el propósito de resumir el proceso de la prueba de Kolmogorov-Smirnov, se utilizó el software SPSS for Windows V.15.0 para calcular los estadígrafos relevantes de la prueba.

Las demás pruebas de bondad se ajuste se realizarán tomando como base los reportes de SPSS.

Cabe resaltar que cuando se trabaja con este software, a diferencia de la ejecución manual de la prueba, el límite aceptable (o región asintótica) que estima el computador representa la proporción (probabilidad) en la que la distribución real se aproxima a la distribución teórica evaluada. En SPSS, una distribución teórica es un buen ajuste de una distribución real cuando este valor es mayor o igual que 0.05 (en SPSS = .05), es en ese caso que se acepta la hipótesis nula (H_0)

2. **DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DEL TIEMPO DE SERVICIO DEL DISEÑADOR 1, LUEGO DE QUE SUS DISEÑOS REGRESAN DE CORRECCIÓN**



Según el histograma de las frecuencias de los tiempos observados, podemos suponer que la distribución de la variable es normal. Entonces:

Definimos:

H_0 : *El tiempo de servicio del diseñador 1 luego de que sus diseños regresan de corrección, sigue una Distribución Normal*

H_1 : *El tiempo de servicio del diseñador 1 luego de que sus diseños regresan de corrección, no sigue una Distribución Normal*

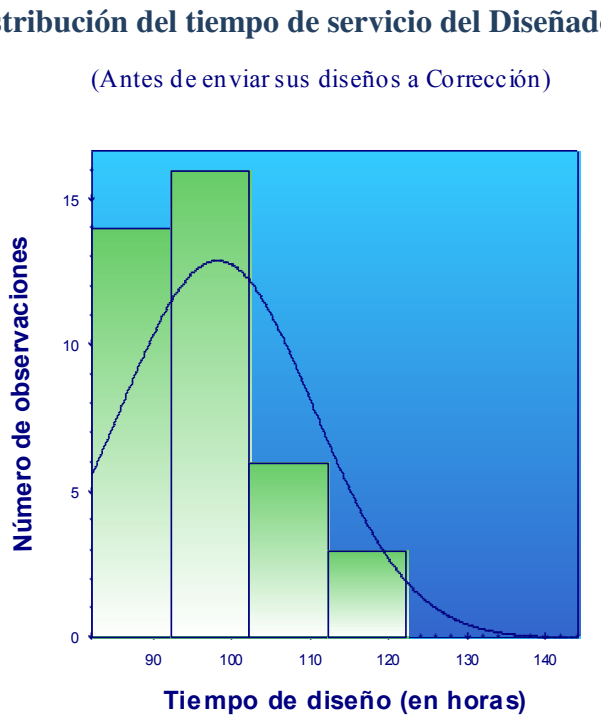
El reporte de SPSS es:

Tiempo de servicio del diseñador 1 luego de que sus diseños regresan de Corrección		
N		24
Parámetros normales(a,b)	Media	20,83
	Desviación típica	2,777
Diferencias más extremas	Absoluta	,118
	Positiva	,118
	Negativa	-,116
Z de Kolmogorov-Smirnov		,578
Sig. asintót. (bilateral)		,892

a La distribución de contraste es la Normal.
b Se han calculado a partir de los datos.

COMO: REGIÓN_ASINTÓTICA = 0.892 > 0.05, ENTONCES SE ACEPTA H_0.

3. **DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DEL TIEMPO DE SERVICIO DEL DISEÑADOR 2, ANTES DE ENVIAR SUS DISEÑOS A CORRECCIÓN**



Según el histograma de las frecuencias de los tiempos observados, podemos suponer que la distribución de la variable es lognormal. Entonces:

Definimos:

H_0 : *El tiempo de servicio del diseñador 2 antes de enviar sus diseños a corrección, sigue una Distribución Lognormal*

H_1 : *El tiempo de servicio del diseñador 2 antes de enviar sus diseños a corrección, no sigue una Distribución Lognormal*

Antes de proceder con esta prueba, es necesario tomar los logaritmos neperianos de los valores de las observaciones de esta variable. Estos valores se registran en la Tabla A3:

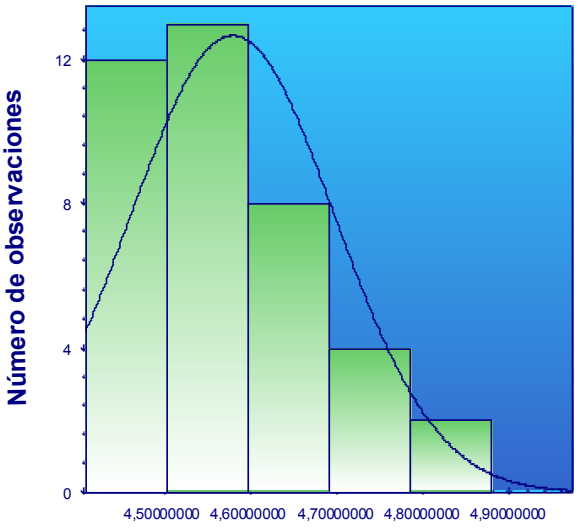
Tabla A3. Logaritmos neperianos de los tiempos de producción del diseñador 2. Proyectos 2003, 2005, 2007 y 2009. (en horas)

Etapa	Servidor	Proyecto			
		2003	2005	2007	2009
Antes de enviar los diseños a Corrección	Diseñador 2	4.9698	4.6052	4.4543	4.5433
		4.5643	4.5643	4.7185	4.6347
		4.7875	4.6250	4.4886	4.5850
		4.4659	4.5747	4.5539	4.6913
		4.4543	4.5643	4.6444	4.5218
		4.7875	4.5109	4.4188	4.5951
		4.6347	4.5850	4.7707	4.4886
		4.6913	4.5433	4.4427	4.4998
		4.4773	4.4067	4.6250	4.4659
		4.5643	4.5951	4.5539	4.4067

Con lo que, el histograma de este bloque de datos es:

Distribución del logaritmo neperiano del tiempo de servicio del Diseñador 2

(Antes de enviar sus diseños a Corrección)



Para probar la hipótesis H_0 basta demostrar que los logaritmos neperianos de la variable en estudio siguen una distribución normal. Por lo que definimos ahora las siguientes hipótesis auxiliares:

H^*_0 : *El logaritmo neperiano del tiempo de servicio del diseñador 2 antes de enviar sus diseños a corrección, está regido por una Distribución Normal*

H^*_1 : *El logaritmo neperiano del tiempo de servicio del diseñador 2 antes de enviar sus diseños a corrección, no está regido por una Distribución Normal*

Ingresando los nuevos datos en el SPSS y aplicando la prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra, obtenemos el siguiente reporte de bondad de ajuste:

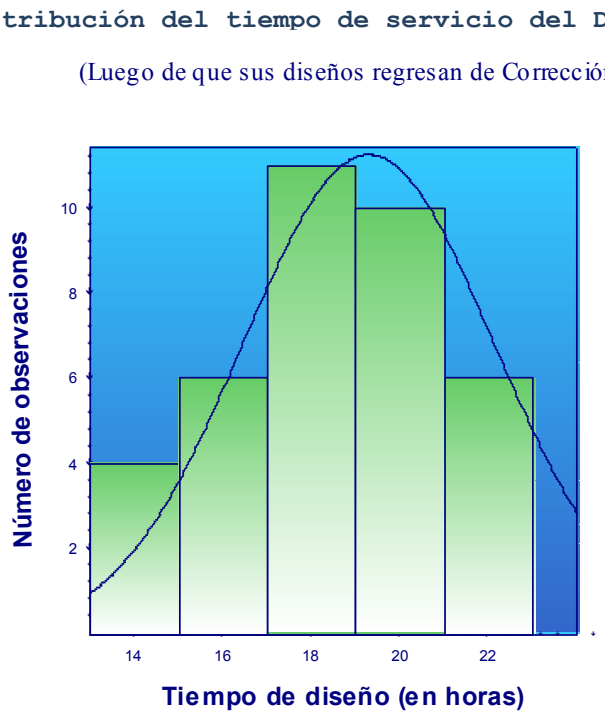
Logaritmo neperiano del tiempo de servicio de diseñador 2 antes de enviar sus diseños a Corrección		
N		40
Parámetros normales(a,b)	Media	4,5768692744
	Desviación típica	,11796684332
Diferencias más extremas	Absoluta	,114
	Positiva	,114
	Negativa	-,075
Z de Kolmogorov-Smirnov		,718
Sig. asintót. (bilateral)		,681

a La distribución de contraste es la Normal.
b Se han calculado a partir de los datos.

COMO: REGIÓN_ASINTÓTICA = 0.681 > 0.05, ENTONCES SE ACEPTA H^*_0. Es decir, el logaritmo neperiano del tiempo de servicio del diseñador 2 antes de enviar sus diseños a corrección, está regido por una Distribución Normal.

FINALMENTE, SE ACEPTA H_0. Es decir, el tiempo de servicio del diseñador 2 antes de enviar sus diseños a corrección, sigue una Distribución Lognormal.

4. **DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DEL TIEMPO DE SERVICIO DEL DISEÑADOR 2, LUEGO DE QUE SUS DISEÑOS REGRESAN DE CORRECCIÓN**



Según el histograma de las frecuencias de los tiempos observados, podemos suponer que la distribución de la variable es normal. Entonces:

Definimos:

H_0 : *El tiempo de servicio del diseñador 2 luego de que sus diseños regresan de corrección, está regido por una Distribución Normal*

H_1 : *El tiempo de servicio del diseñador 2 luego de que sus diseños regresan de corrección, no está regido por una Distribución Normal*

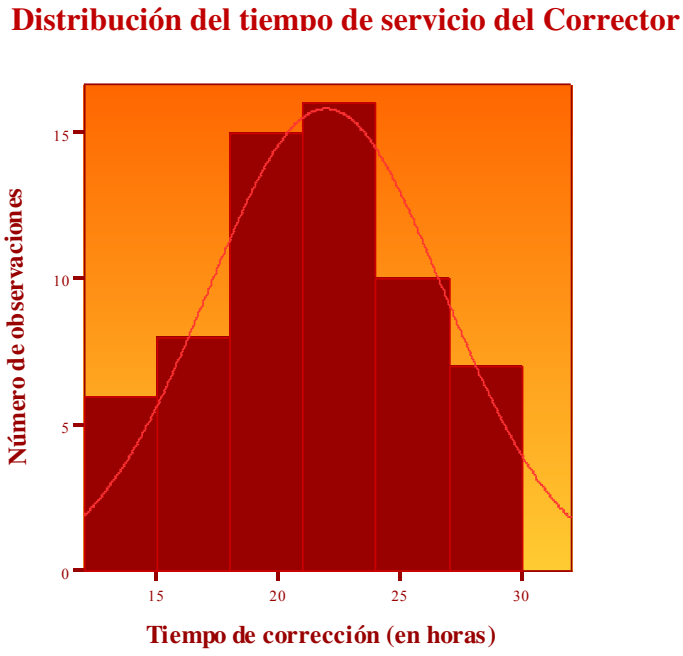
El reporte de SPSS es:

Tiempo de servicio de diseñador 2 luego de que sus diseños regresan de Corrección		
N		40
Parámetros normales(a,b)	Media	19,28
	Desviación típica	2,837
Diferencias más extremas	Absoluta	,123
	Positiva	,123
	Negativa	-,103
Z de Kolmogorov-Smirnov		,781
Sig. asintót. (bilateral)		,576

a La distribución de contraste es la Normal.
b Se han calculado a partir de los datos.

COMO: REGIÓN_ASINTÓTICA = 0.576 > 0.05, ENTONCES SE ACEPTA H_0.

5. **DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DEL TIEMPO DE SERVICIO DEL CORRECTOR POR LIBRO**



Según el histograma de las frecuencias de los tiempos observados, podemos suponer que la distribución de la variable es normal. Entonces:

Definimos:

H_0 : *El tiempo de servicio del corrector, obedece a una Distribución Normal*

H_1 : *El tiempo de servicio del corrector, no obedece a una Distribución Normal*

El reporte de SPSS es:

Tiempo de servicio del Corrector		
N		64
Parámetros normales(a,b)	Media	21,92
	Desviación típica	4,838
Diferencias más extremas	Absoluta	,061
	Positiva	,061
	Negativa	-,054
Z de Kolmogorov-Smirnov		,491
Sig. asintót. (bilateral)		,969

a La distribución de contraste es la Normal.
b Se han calculado a partir de los datos.

COMO: REGIÓN_ASINTÓTICA = 0.969 > 0.05, ENTONCES SE ACEPTA H_0.

ANEXO III

ENSAYO Y ERROR DEL NÚMERO DE RÉPLICAS DEL EJEMPLO 2.2

Tabla A4. Detalle del tanteo del número de réplicas necesarias (*N*) para asegurar un error de 10 unidades (*e* = 10) con desviación estándar de 47.3919 (*s* = 47.3919) unidades, utilizando un 90% de confiabilidad (α = 0.1), en el Ejemplo 2.2. ($t_{N-1}(1-\alpha/2)=t_9(0.95)=1.833$)

i (evaluado)	$\sqrt{\frac{s^2}{i}}$	$e^*=t_9(0.95)\sqrt{\frac{s^2}{i}}$	Acción a tomar según valor de e^*	$t_{i-1}(0.95)$	i (tanteado)
2	33.5111339	61.4296925	Seguir tanteando	2.91998558	192
3	27.3617262	50.1571339	Seguir tanteando	2.35336343	125
4	23.69595	43.4373522	Seguir tanteando	2.13184678	103
5	21.194302	38.8515489	Seguir tanteando	2.01504837	92
6	19.3476622	35.4664495	Seguir tanteando	1.94318027	85
7	17.9124545	32.8355518	Seguir tanteando	1.8945786	81
8	16.7555669	30.7148463	Seguir tanteando	1.85954803	78
9	15.7973	28.9582348	Seguir tanteando	1.83311292	76
10	14.9866347	27.4721937	Seguir tanteando	1.8124611	74
11	14.2891955	26.1937089	Seguir tanteando	1.79588481	73
12	13.6808631	25.078567	Seguir tanteando	1.78228755	72
13	13.1441481	24.0947078	Seguir tanteando	1.77093338	71
14	12.6660181	23.2182414	Seguir tanteando	1.76131012	70
15	12.236536	22.4309522	Seguir tanteando	1.75305033	70
16	11.847975	21.7186761	Seguir tanteando	1.74588367	69
17	11.4942241	21.0702107	Seguir tanteando	1.73960672	68
18	11.170378	20.4765642	Seguir tanteando	1.73406359	68
19	10.8724475	19.930424	Seguir tanteando	1.72913279	68
20	10.597151	19.4257744	Seguir tanteando	1.72471822	67
21	10.3417604	18.9576147	Seguir tanteando	1.72074287	67
22	10.103987	18.5217492	Seguir tanteando	1.71714434	67
23	9.88189426	18.1146281	Seguir tanteando	1.71387152	66
24	9.67383108	17.7332248	Seguir tanteando	1.71088207	66
25	9.47838	17.3749409	Seguir tanteando	1.70814075	66
26	9.29431626	17.0375313	Seguir tanteando	1.7056179	66
27	9.12057541	16.7190446	Seguir tanteando	1.70328842	66
28	8.95622725	16.4177759	Seguir tanteando	1.70113091	65
29	8.8004549	16.1322276	Seguir tanteando	1.699127	65
30	8.65253756	15.8610784	Seguir tanteando	1.69726085	65
31	8.51183651	15.6031575	Seguir tanteando	1.69551874	65
32	8.37778347	15.3574231	Seguir tanteando	1.6938887	65
33	8.24987086	15.1229449	Seguir tanteando	1.69236026	65

i (evaluado)	$\sqrt{\frac{s^2}{i}}$	$e^* = t_9(0.95)\sqrt{\frac{s^2}{i}}$	Acción a tomar según valor de e^*	$t_{i-1}(0.95)$	i (tanteado)
34	8.1276438	14.8988889	Seguir tanteando	1.6909242	65
35	8.01069318	14.6845052	Seguir tanteando	1.68957244	65
36	7.89865	14.4791174	Seguir tanteando	1.68829769	65
37	7.79118037	14.2821134	Seguir tanteando	1.6870936	64
38	7.68798137	14.092938	Seguir tanteando	1.68595446	64
39	7.58877745	13.911086	Seguir tanteando	1.68487512	64
40	7.49331733	13.7360968	Seguir tanteando	1.68385101	64
41	7.40137131	13.5675494	Seguir tanteando	1.682878	64
42	7.31272893	13.4050579	Seguir tanteando	1.68195236	64
43	7.227197	13.2482682	Seguir tanteando	1.6810707	64
44	7.14459775	13.0968545	Seguir tanteando	1.68022998	64
45	7.06476733	12.9505163	Seguir tanteando	1.67942739	64
46	6.98755444	12.8089763	Seguir tanteando	1.67866041	64
47	6.91281909	12.671978	Seguir tanteando	1.67792672	64
48	6.84043156	12.5392835	Seguir tanteando	1.6772242	64
49	6.77027143	12.410672	Seguir tanteando	1.67655089	64
50	6.70222677	12.2859385	Seguir tanteando	1.67590503	64
51	6.63619337	12.1648918	Seguir tanteando	1.67528495	64
52	6.57207406	12.0473539	Seguir tanteando	1.67468915	63
53	6.50977811	11.9331584	Seguir tanteando	1.67411624	63
54	6.44922072	11.8221498	Seguir tanteando	1.67356491	63
55	6.39032249	11.7141827	Seguir tanteando	1.67303397	63
56	6.33300903	11.6091207	Seguir tanteando	1.6725223	63
57	6.2772105	11.5068357	Seguir tanteando	1.67202889	63
58	6.22286134	11.4072075	Seguir tanteando	1.67155276	63
59	6.16989985	11.3101231	Seguir tanteando	1.67109303	63
60	6.11826798	11.2154761	Seguir tanteando	1.67064887	63
61	6.06791101	11.1231661	Seguir tanteando	1.67021948	63
62	6.01877732	11.0330985	Seguir tanteando	1.66980416	63
63	5.97081817	10.9451839	Seguir tanteando	1.66940222	63
64	5.9239875	10.859338	Seguir tanteando	1.66901303	63
65	5.87824174	10.7754809	Seguir tanteando	1.66863598	63
66	5.83353963	10.6935369	Seguir tanteando	1.66827051	63
67	5.78984209	10.6134344	Seguir tanteando	1.66791611	63
68	5.74711204	10.5351054	Seguir tanteando	1.66757228	63
69	5.70531431	10.4584854	Seguir tanteando	1.66723855	63
70	5.66441547	10.3835132	Seguir tanteando	1.66691448	63
71	5.62438377	10.3101306	Seguir tanteando	1.66659966	63
72	5.58518898	10.2382821	Seguir tanteando	1.6662937	63
73	5.54680234	10.1679151	Seguir tanteando	1.66599622	63
74	5.50919647	10.0989792	Seguir tanteando	1.66570689	63
75	**5.47234524**	**10.0314268**	**Valor límite**	**1.66542537**	**63**
76	5.43622376	9.96521202			

ANEXO IV

ENSAYO Y ERROR DEL NÚMERO DE RÉPLICAS PARA LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL

Tabla A5. Detalle del tanteo del número de réplicas necesarias (*N*) para asegurar un error de S/. 0.05 unidades (*e* = 0.05) con desviación estándar de 0.35991318 (s = 0.35991318) nuevos soles, utilizando un 95% de confiabilidad (α = 0.05), en el modelo del Sistema Actual de Edición y diseño.

$$(t_{N-1}(1-\alpha/2) = t_9(0.975) = 2.26215716)$$

i (evaluado)	$\sqrt{\frac{s^2}{i}}$	$e^* = t_9(0.975)\sqrt{\frac{s^2}{i}}$	Acción a tomar según valor de e^*	$t_{i-1}(0.975)$	i (tanteado)
2	0.25449705	0.57571232	Seguir tanteando	4.30265273	960
3	0.20779597	0.47006714	Seguir tanteando	3.1824463	525
4	0.17995659	0.40709009	Seguir tanteando	2.77644511	400
5	0.16095807	0.36411244	Seguir tanteando	2.57058183	343
6	0.14693394	0.33238767	Seguir tanteando	2.44691185	311
7	0.1360344	0.30773118	Seguir tanteando	2.36462425	290
8	0.12724853	0.28785616	Seguir tanteando	2.30600413	276
9	0.11997106	0.27139339	Seguir tanteando	2.26215716	266
10	0.11381454	0.25746638	Seguir tanteando	2.22813884	258
11	0.10851791	0.24548456	Seguir tanteando	2.20098516	252
12	0.10389799	0.23503357	Seguir tanteando	2.17881283	246
13	0.09982196	0.22581295	Seguir tanteando	2.16036865	242
14	0.09619084	0.21759881	Seguir tanteando	2.14478668	239
15	0.09292918	0.21022042	Seguir tanteando	2.13144954	236
16	0.0899783	0.20354504	Seguir tanteando	2.11990529	233
17	0.08729177	0.1974677	Seguir tanteando	2.10981556	231
18	0.08483235	0.19190411	Seguir tanteando	2.10092204	229
19	0.08256975	0.18678574	Seguir tanteando	2.09302405	227
20	0.08047903	0.18205622	Seguir tanteando	2.08596344	226
21	0.07853949	0.17766868	Seguir tanteando	2.07961384	225
22	0.07673375	0.1735838	Seguir tanteando	2.07387306	223
23	0.07504709	0.1697683	Seguir tanteando	2.0686576	222
24	0.07346697	0.16619383	Seguir tanteando	2.06389855	221
25	0.07198264	0.16283604	Seguir tanteando	2.05953854	220
26	0.07058478	0.15967387	Seguir tanteando	2.05552942	219
27	0.06926532	0.15668905	Seguir tanteando	2.05183049	219
28	0.0680172	0.15386559	Seguir tanteando	2.04840711	218
29	0.0668342	0.15118946	Seguir tanteando	2.04522961	217
30	0.06571086	0.14864828	Seguir tanteando	2.04227245	217
31	0.06464232	0.14623108	Seguir tanteando	2.03951344	216

i (evaluado)	$\sqrt{\frac{s^2}{i}}$	$e^* = t_9(0.975)\sqrt{\frac{s^2}{i}}$	Acción a tomar según valor de e^*	$t_{i-1}(0.975)$	i (tanteado)
32	0.06362426	0.14392808	Seguir tanteando	2.03693333	215
33	0.06265284	0.14173058	Seguir tanteando	2.03451529	215
34	0.0617246	0.13963075	Seguir tanteando	2.0322445	214
35	0.06083643	0.13762157	Seguir tanteando	2.03010792	214
36	0.05998553	0.1356967	Seguir tanteando	2.02809399	214
37	0.05916936	0.1338504	Seguir tanteando	2.02619245	213
38	0.05838563	0.13207747	Seguir tanteando	2.02439415	213
39	0.05763223	0.13037317	Seguir tanteando	2.0226909	212
40	0.05690727	0.12873319	Seguir tanteando	2.02107537	212
41	0.056209	0.12715358	Seguir tanteando	2.01954095	212
42	0.05553581	0.12563073	Seguir tanteando	2.01808168	212
43	0.05488625	0.12416131	Seguir tanteando	2.01669217	211
44	0.05425895	0.12274228	Seguir tanteando	2.01536755	211
45	0.05365269	0.12137081	Seguir tanteando	2.01410336	211
46	0.0530663	0.12004432	Seguir tanteando	2.01289557	210
47	0.05249873	0.11876038	Seguir tanteando	2.01174048	210
48	0.05194899	0.11751679	Seguir tanteando	2.01063472	210
49	0.05141617	0.11631145	Seguir tanteando	2.0095752	210
50	0.05089941	0.11514246	Seguir tanteando	2.00855907	210
51	0.05039793	0.11400803	Seguir tanteando	2.00758373	209
52	0.04991098	0.11290648	Seguir tanteando	2.00664676	209
53	0.04943788	0.11183625	Seguir tanteando	2.00574595	209
54	0.04897798	0.11079589	Seguir tanteando	2.00487927	209
55	0.04853068	0.10978403	Seguir tanteando	2.00404477	209
56	0.04809542	0.1087994	Seguir tanteando	2.0032407	208
57	0.04767167	0.1078408	Seguir tanteando	2.00246544	208
58	0.04725892	0.10690709	Seguir tanteando	2.00171747	208
59	0.0468567	0.10599723	Seguir tanteando	2.00099536	208
60	0.04646459	0.10511021	Seguir tanteando	2.0002978	208
61	0.04608216	0.10424509	Seguir tanteando	1.99962357	208
62	0.04570902	0.10340099	Seguir tanteando	1.9989715	208
63	0.0453448	0.10257706	Seguir tanteando	1.99834052	207
64	0.04498915	0.10177252	Seguir tanteando	1.99772963	207
65	0.04464174	0.10098662	Seguir tanteando	1.99713789	207
66	0.04430225	0.10021865	Seguir tanteando	1.9965644	207
67	0.04397039	0.09946794	Seguir tanteando	1.99600833	207
68	0.04364588	0.09873385	Seguir tanteando	1.99546891	207
69	0.04332846	0.09801578	Seguir tanteando	1.99494539	207
70	0.04301785	0.09731314	Seguir tanteando	1.99443709	207
71	0.04271384	0.09662541	Seguir tanteando	1.99394334	207
72	0.04241618	0.09595205	Seguir tanteando	1.99346354	206
73	0.04212465	0.09529258	Seguir tanteando	1.9929971	206
74	0.04183906	0.09464652	Seguir tanteando	1.99254347	206
75	0.04155919	0.09401343	Seguir tanteando	1.99210212	206
76	0.04128487	0.09339287	Seguir tanteando	1.99167258	206
77	0.04101591	0.09278444	Seguir tanteando	1.99125436	206
78	0.04075214	0.09218775	Seguir tanteando	1.99084704	206
79	0.0404934	0.09160243	Seguir tanteando	1.99045018	206
80	0.04023952	0.09102811	Seguir tanteando	1.99006339	206
81	0.03999035	0.09046446	Seguir tanteando	1.98968629	206

i (evaluado)	$\sqrt{\frac{s^2}{i}}$	$e^* = t_9(0.975)\sqrt{\frac{s^2}{i}}$	Acción a tomar según valor de e^*	$t_{i-1}(0.975)$	i (tanteado)
82	0.03974576	0.08991116	Seguir tanteando	1.98931852	206
83	0.0395056	0.08936788	Seguir tanteando	1.98895974	205
84	0.03926975	0.08883434	Seguir tanteando	1.98860963	205
85	0.03903807	0.08831024	Seguir tanteando	1.98826787	205
86	0.03881044	0.08779531	Seguir tanteando	1.98793417	205
87	0.03858674	0.08728928	Seguir tanteando	1.98760824	205
88	0.03836687	0.0867919	Seguir tanteando	1.98728982	205
89	0.03815072	0.08630293	Seguir tanteando	1.98697866	205
90	0.03793818	0.08582213	Seguir tanteando	1.9866745	205
91	0.03772915	0.08534927	Seguir tanteando	1.98637711	205
92	0.03752354	0.08488415	Seguir tanteando	1.98608627	205
93	0.03732126	0.08442655	Seguir tanteando	1.98580177	205
94	0.03712221	0.08397627	Seguir tanteando	1.98552339	205
95	0.03692631	0.08353312	Seguir tanteando	1.98525096	205
96	0.03673349	0.08309692	Seguir tanteando	1.98498426	205
97	0.03654365	0.08266747	Seguir tanteando	1.98472314	205
98	0.03635672	0.08224462	Seguir tanteando	1.9844674	205
99	0.03617264	0.08182819	Seguir tanteando	1.9842169	205
100	0.03599132	0.08141802	Seguir tanteando	1.98397147	204
101	0.0358127	0.08101396	Seguir tanteando	1.98373095	204
102	0.03563672	0.08061585	Seguir tanteando	1.9834952	204
103	0.0354633	0.08022356	Seguir tanteando	1.98326409	204
104	0.03529239	0.07983693	Seguir tanteando	1.98303747	204
105	0.03512393	0.07945585	Seguir tanteando	1.98281522	204
106	0.03495786	0.07908017	Seguir tanteando	1.9825972	204
107	0.03479412	0.07870977	Seguir tanteando	1.98238331	204
108	0.03463266	0.07834452	Seguir tanteando	1.98217342	204
109	0.03447343	0.07798432	Seguir tanteando	1.98196743	204
110	0.03431638	0.07762903	Seguir tanteando	1.98176522	204
111	0.03416145	0.07727856	Seguir tanteando	1.9815667	204
112	0.0340086	0.0769328	Seguir tanteando	1.98137175	204
113	0.03385778	0.07659163	Seguir tanteando	1.9811803	204
114	0.03370896	0.07625496	Seguir tanteando	1.98099223	204
115	0.03356208	0.07592269	Seguir tanteando	1.98080748	204
116	0.0334171	0.07559473	Seguir tanteando	1.98062594	204
117	0.03327399	0.07527098	Seguir tanteando	1.98044753	204
118	0.03313269	0.07495136	Seguir tanteando	1.98027223	204
119	0.03299319	0.07463577	Seguir tanteando	1.98009985	204
120	0.03285543	0.07432414	Seguir tanteando	1.97993038	204
121	0.03271938	0.07401638	Seguir tanteando	1.97976374	204
122	0.03258501	0.07371241	Seguir tanteando	1.97959985	204
123	0.03245228	0.07341215	Seguir tanteando	1.97943866	204
124	0.03232116	0.07311554	Seguir tanteando	1.97928009	203
125	0.03219161	0.07282249	Seguir tanteando	1.97912408	203
126	0.03206361	0.07253294	Seguir tanteando	1.97897058	203
127	0.03193713	0.07224681	Seguir tanteando	1.97881951	203
128	0.03181213	0.07196404	Seguir tanteando	1.97867082	203
129	0.03168859	0.07168457	Seguir tanteando	1.97852446	203
130	0.03156647	0.07140833	Seguir tanteando	1.97838038	203
131	0.03144576	0.07113525	Seguir tanteando	1.97823851	203

i (evaluado)	$\sqrt{\frac{s^2}{i}}$	$e^* = t_9(0.975)\sqrt{\frac{s^2}{i}}$	Acción a tomar según valor de e^*	$t_{i-1}(0.975)$	i (tanteado)
132	0.03132642	0.07086529	Seguir tanteando	1.97809881	203
133	0.03120843	0.07059837	Seguir tanteando	1.97796124	203
134	0.03109176	0.07033445	Seguir tanteando	1.97782573	203
135	0.03097639	0.07007347	Seguir tanteando	1.97769225	203
136	0.0308623	0.06981537	Seguir tanteando	1.97756075	203
137	0.03074946	0.06956011	Seguir tanteando	1.97743118	203
138	0.03063784	0.06930762	Seguir tanteando	1.97730351	203
139	0.03052744	0.06905786	Seguir tanteando	1.97717769	203
140	0.03041822	0.06881078	Seguir tanteando	1.97705369	203
141	0.03031016	0.06856634	Seguir tanteando	1.97693146	203
142	0.03020324	0.06832448	Seguir tanteando	1.97681096	203
143	0.03009745	0.06808517	Seguir tanteando	1.97669217	203
144	0.02999277	0.06784835	Seguir tanteando	1.97657503	203
145	0.02988916	0.06761398	Seguir tanteando	1.97645953	203
146	0.02978663	0.06738203	Seguir tanteando	1.97634562	203
147	0.02968514	0.06715245	Seguir tanteando	1.97623328	203
148	0.02958468	0.0669252	Seguir tanteando	1.97612246	203
149	0.02948524	0.06670024	Seguir tanteando	1.97601314	203
150	0.02938679	0.06647753	Seguir tanteando	1.9759053	203
151	0.02928932	0.06625704	Seguir tanteando	1.97579889	203
152	0.02919281	0.06603873	Seguir tanteando	1.97569389	203
153	0.02909726	0.06582257	Seguir tanteando	1.97559028	203
154	0.02900263	0.06560851	Seguir tanteando	1.97548802	203
155	0.02890892	0.06539653	Seguir tanteando	1.9753871	203
156	0.02881612	0.06518658	Seguir tanteando	1.97528747	203
157	0.0287242	0.06497865	Seguir tanteando	1.97518913	203
158	0.02863316	0.0647727	Seguir tanteando	1.97509204	203
159	0.02854297	0.06456869	Seguir tanteando	1.97499618	203
160	0.02845364	0.06436659	Seguir tanteando	1.97490152	203
161	0.02836513	0.06416639	Seguir tanteando	1.97480806	203
162	0.02827745	0.06396804	Seguir tanteando	1.97471575	203
163	0.02819058	0.06377151	Seguir tanteando	1.97462458	203
164	0.0281045	0.06357679	Seguir tanteando	1.97453454	203
165	0.0280192	0.06338384	Seguir tanteando	1.97444559	202
166	0.02793468	0.06319264	Seguir tanteando	1.97435773	202
167	0.02785092	0.06300315	Seguir tanteando	1.97427092	202
168	0.0277679	0.06281536	Seguir tanteando	1.97418515	202
169	0.02768563	0.06262924	Seguir tanteando	1.97410041	202
170	0.02760408	0.06244477	Seguir tanteando	1.97401667	202
171	0.02752325	0.06226191	Seguir tanteando	1.97393392	202
172	0.02744312	0.06208066	Seguir tanteando	1.97385213	202
173	0.02736369	0.06190097	Seguir tanteando	1.9737713	202
174	0.02728495	0.06172284	Seguir tanteando	1.9736914	202
175	0.02720688	0.06154624	Seguir tanteando	1.97361242	202
176	0.02712948	0.06137114	Seguir tanteando	1.97353435	202
177	0.02705273	0.06119753	Seguir tanteando	1.97345716	202
178	0.02697663	0.06102538	Seguir tanteando	1.97338085	202
179	0.02690117	0.06085468	Seguir tanteando	1.97330539	202
180	0.02682634	0.06068541	Seguir tanteando	1.97323078	202
181	0.02675214	0.06051754	Seguir tanteando	1.973157	202

i (evaluado)	$\sqrt{\frac{s^2}{i}}$	$e^* = t_9(0.975)\sqrt{\frac{s^2}{i}}$	Acción a tomar según valor de e^*	$t_{i-1}(0.975)$	i (tanteado)
182	0.02667854	0.06035105	Seguir tanteando	1.97308404	202
183	0.02660555	0.06018593	Seguir tanteando	1.97301187	202
184	0.02653315	0.06002216	Seguir tanteando	1.9729405	202
185	0.02646134	0.05985972	Seguir tanteando	1.9728699	202
186	0.02639011	0.05969859	Seguir tanteando	1.97280007	202
187	0.02631946	0.05953875	Seguir tanteando	1.97273099	202
188	0.02624937	0.05938019	Seguir tanteando	1.97266265	202
189	0.02617983	0.05922289	Seguir tanteando	1.97259504	202
190	0.02611085	0.05906684	Seguir tanteando	1.97252814	202
191	0.0260424	0.05891201	Seguir tanteando	1.97246195	202
192	0.0259745	0.05875839	Seguir tanteando	1.97239645	202
193	0.02590712	0.05860597	Seguir tanteando	1.97233163	202
194	0.02584026	0.05845473	Seguir tanteando	1.97226749	202
195	0.02577392	0.05830465	Seguir tanteando	1.97220401	202
196	0.02570808	0.05815573	Seguir tanteando	1.97214118	202
197	0.02564275	0.05800794	Seguir tanteando	1.97207899	202
198	0.02557792	0.05786127	Seguir tanteando	1.97201743	202
199	0.02551357	0.0577157	Seguir tanteando	1.9719565	202
200	0.02544971	0.05757123	Seguir tanteando	1.97189618	202
201	0.02538632	0.05742784	Seguir tanteando	1.97183646	202
202	0.0253234	0.05728552	Seguir tanteando	1.97177734	202
203	0.02526095	0.05714425	Seguir tanteando	1.9717188	202
204	0.02519896	0.05700401	Seguir tanteando	1.97166084	202
205	0.02513743	0.05686481	Seguir tanteando	1.97160345	202
206	0.02507634	0.05672662	Seguir tanteando	1.97154662	202
207	0.0250157	0.05658943	Seguir tanteando	1.97149034	202
208	0.02495549	0.05645324	Seguir tanteando	1.97143461	202
209	0.02489572	0.05631802	Seguir tanteando	1.97137941	202
210	0.02483637	0.05618377	Seguir tanteando	1.97132474	202
211	0.02477745	0.05605047	Seguir tanteando	1.9712706	202
212	0.02471894	0.05591812	Seguir tanteando	1.97121696	202
213	0.02466084	0.05578671	Seguir tanteando	1.97116384	202
214	0.02460316	0.05565621	Seguir tanteando	1.97111121	202
215	0.02454588	0.05552663	Seguir tanteando	1.97105907	202
216	0.02448899	0.05539794	Seguir tanteando	1.97100742	202
217	0.0244325	0.05527015	Seguir tanteando	1.97095625	202
218	0.0243764	0.05514324	Seguir tanteando	1.97090555	202
219	0.02432068	0.0550172	Seguir tanteando	1.97085532	202
220	0.02426534	0.05489202	Seguir tanteando	1.97080554	202
221	0.02421038	0.05476769	Seguir tanteando	1.97075622	202
222	0.02415579	0.0546442	Seguir tanteando	1.97070734	202
223	0.02410157	0.05452154	Seguir tanteando	1.97065891	202
224	0.02404771	0.0543997	Seguir tanteando	1.97061091	202
225	0.02399421	0.05427868	Seguir tanteando	1.97056334	202
226	0.02394107	0.05415846	Seguir tanteando	1.97051619	202
227	0.02388828	0.05403904	Seguir tanteando	1.97046946	202
228	0.02383583	0.0539204	Seguir tanteando	1.97042314	202
229	0.02378373	0.05380254	Seguir tanteando	1.97037723	202
230	0.02373197	0.05368545	Seguir tanteando	1.97033172	202
231	0.02368055	0.05356912	Seguir tanteando	1.97028661	202

i (evaluado)	$\sqrt{\frac{s^2}{i}}$	$e^* = t_9(0.975)\sqrt{\frac{s^2}{i}}$	Acción a tomar según valor de e^*	$t_{i-1}(0.975)$	i (tanteado)
232	0.02362946	0.05345355	Seguir tanteando	1.97024188	202
233	0.0235787	0.05333872	Seguir tanteando	1.97019755	202
234	0.02352826	0.05322462	Seguir tanteando	1.97015359	202
235	0.02347815	0.05311126	Seguir tanteando	1.97011001	202
236	0.02342835	0.05299862	Seguir tanteando	1.9700668	202
237	0.02337887	0.05288669	Seguir tanteando	1.97002396	202
238	0.02332971	0.05277546	Seguir tanteando	1.96998148	202
239	0.02328085	0.05266494	Seguir tanteando	1.96993935	202
240	0.0232323	0.0525551	Seguir tanteando	1.96989758	202
241	0.02318405	0.05244596	Seguir tanteando	1.96985616	202
242	0.0231361	0.05233748	Seguir tanteando	1.96981508	202
243	0.02308844	0.05222968	Seguir tanteando	1.96977434	202
244	0.02304108	0.05212254	Seguir tanteando	1.96973394	202
245	0.02299401	0.05201606	Seguir tanteando	1.96969387	202
246	0.02294723	0.05191023	Seguir tanteando	1.96965412	202
247	0.02290073	0.05180504	Seguir tanteando	1.9696147	202
248	0.02285451	0.05170049	Seguir tanteando	1.9695756	202
249	0.02280857	0.05159657	Seguir tanteando	1.96953681	201
250	0.02276291	0.05149328	Seguir tanteando	1.96949834	201
251	0.02271752	0.0513906	Seguir tanteando	1.96946017	201
252	0.0226724	0.05128853	Seguir tanteando	1.96942231	201
253	0.02262755	0.05118707	Seguir tanteando	1.96938475	201
254	0.02258296	0.05108621	Seguir tanteando	1.96934748	201
255	0.02253864	0.05098594	Seguir tanteando	1.96931051	201
256	0.02249457	0.05088626	Seguir tanteando	1.96927383	201
257	0.02245077	0.05078716	Seguir tanteando	1.96923744	201
258	0.02240722	0.05068864	Seguir tanteando	1.96920133	201
259	0.02236392	0.05059069	Seguir tanteando	1.9691655	201
260	0.02232087	0.05049331	Seguir tanteando	1.96912995	201
261	0.02227807	0.05039649	Seguir tanteando	1.96909467	201
262	0.02223551	0.05030022	Seguir tanteando	1.96905966	201
263	0.0221932	0.0502045	Seguir tanteando	1.96902492	201
264	0.02215112	0.05010933	Seguir tanteando	1.96899044	201
265	**0.02210929**	**0.05001469**	**Valor límite**	**1.96895622**	**201**
266	0.02206769	0.04992059			

ANEXO V

ENSAYO Y ERROR DEL NÚMERO DE RÉPLICAS PARA LA SIMULACIÓN DEL ESCENARIO ALTERNATIVO

Tabla A6. Detalle del tanteo del número de réplicas necesarias (*N*) para asegurar un error de S/. 0.05 unidades (*e* = 0.05) con desviación estándar de 0,22636726 (s = 0,22636726) nuevos soles, utilizando un 95% de confiabilidad (α = 0.05), en el modelo del Escenario Alternativo de Edición y diseño.

$$(t_{N-1}(1-\alpha/2) = t_9(0.975) = 2.26215716)$$

i (evaluado)	$\sqrt{\frac{s^2}{i}}$	$e^* = t_9(0.975)\sqrt{\frac{s^2}{i}}$	Acción a tomar según valor de e^*	$t_{i-1}(0.975)$	i (tanteado)
2	0,16006582	0,36209405	Seguir tanteando	4,30265273	380
3	0,1306932	0,29564855	Seguir tanteando	3,1824463	208
4	0,11318363	0,25603916	Seguir tanteando	2,77644511	159
5	0,10123452	0,22900838	Seguir tanteando	2,57058183	136
6	0,09241405	0,2090551	Seguir tanteando	2,44691185	123
7	0,08555878	0,19354741	Seguir tanteando	2,36462425	115
8	0,08003291	0,18104702	Seguir tanteando	2,30600413	109
9	0,07545575	0,17069277	Seguir tanteando	2,26215716	105
10	0,07158361	0,16193338	Seguir tanteando	2,22813884	102
11	0,0682523	0,15439742	Seguir tanteando	2,20098516	100
12	0,0653466	0,14782428	Seguir tanteando	2,17881283	98
13	0,06278298	0,14202497	Seguir tanteando	2,16036865	96
14	0,06049919	0,13685869	Seguir tanteando	2,14478668	95
15	0,05844777	0,13221805	Seguir tanteando	2,13144954	94
16	0,05659181	0,12801958	Seguir tanteando	2,11990529	93
17	0,05490212	0,12419723	Seguir tanteando	2,10981556	92
18	0,05335527	0,12069802	Seguir tanteando	2,10092204	91
19	0,05193221	0,11747882	Seguir tanteando	2,09302405	90
20	0,05061726	0,11450419	Seguir tanteando	2,08596344	90
21	0,04939739	0,11174465	Seguir tanteando	2,07961384	89
22	0,04826166	0,10917546	Seguir tanteando	2,07387306	89
23	0,04720084	0,10677571	Seguir tanteando	2,0686576	88
24	0,04620702	0,10452755	Seguir tanteando	2,06389855	88
25	0,04527345	0,10241566	Seguir tanteando	2,05953854	87
26	0,04439427	0,10042682	Seguir tanteando	2,05552942	87
27	0,0435644	0,09854952	Seguir tanteando	2,05183049	87
28	0,04277939	0,0967737	Seguir tanteando	2,04840711	87
29	0,04203534	0,09509056	Seguir tanteando	2,04522961	86
30	0,04132882	0,09349228	Seguir tanteando	2,04227245	86

i (evaluado)	$\sqrt{\frac{s^2}{i}}$	$e^* = t_9(0.975)\sqrt{\frac{s^2}{i}}$	Acción a tomar según valor de e^*	$t_{i-1}(0.975)$	i (tanteado)
31	0,04065676	0,09197198	Seguir tanteando	2,03951344	86
32	0,04001646	0,09052351	Seguir tanteando	2,03693333	86
33	0,03940548	0,08914139	Seguir tanteando	2,03451529	85
34	0,03882166	0,08782071	Seguir tanteando	2,0322445	85
35	0,03826305	0,08655703	Seguir tanteando	2,03010792	85
36	0,03772788	0,08534639	Seguir tanteando	2,02809399	85
37	0,03721455	0,08418516	Seguir tanteando	2,02619245	85
38	0,03672162	0,08307007	Seguir tanteando	2,02439415	84
39	0,03624777	0,08199815	Seguir tanteando	2,0226909	84
40	0,03579181	0,08096669	Seguir tanteando	2,02107537	84
41	0,03535263	0,0799732	Seguir tanteando	2,01954095	84
42	0,03492923	0,0790154	Seguir tanteando	2,01808168	84
43	0,03452068	0,07809121	Seguir tanteando	2,01669217	84
44	0,03412615	0,07719871	Seguir tanteando	2,01536755	84
45	0,03374484	0,07633613	Seguir tanteando	2,01410336	84
46	0,03337603	0,07550183	Seguir tanteando	2,01289557	84
47	0,03301906	0,0746943	Seguir tanteando	2,01174048	83
48	0,0326733	0,07391214	Seguir tanteando	2,01063472	83
49	0,03233818	0,07315404	Seguir tanteando	2,0095752	83
50	0,03201316	0,07241881	Seguir tanteando	2,00855907	83
51	0,03169776	0,07170531	Seguir tanteando	2,00758373	83
52	0,03139149	0,07101249	Seguir tanteando	2,00664676	83
53	0,03109393	0,07033937	Seguir tanteando	2,00574595	83
54	0,03080468	0,06968503	Seguir tanteando	2,00487927	83
55	0,03052335	0,06904863	Seguir tanteando	2,00404477	83
56	0,0302496	0,06842934	Seguir tanteando	2,0032407	83
57	0,02998308	0,06782643	Seguir tanteando	2,00246544	83
58	0,02972348	0,06723918	Seguir tanteando	2,00171747	83
59	0,02947051	0,06666692	Seguir tanteando	2,00099536	83
60	0,02922389	0,06610903	Seguir tanteando	2,0002978	83
61	0,02898336	0,06556491	Seguir tanteando	1,99962357	82
62	0,02874867	0,06503401	Seguir tanteando	1,9989715	82
63	0,02851959	0,0645158	Seguir tanteando	1,99834052	82
64	0,02829591	0,06400979	Seguir tanteando	1,99772963	82
65	0,0280774	0,0635155	Seguir tanteando	1,99713789	82
66	0,02786388	0,06303248	Seguir tanteando	1,9965644	82
67	0,02765516	0,06256032	Seguir tanteando	1,99600833	82
68	0,02745106	0,06209862	Seguir tanteando	1,99546891	82
69	0,02725142	0,06164698	Seguir tanteando	1,99494539	82
70	0,02705606	0,06120507	Seguir tanteando	1,99443709	82
71	0,02686485	0,06077252	Seguir tanteando	1,99394334	82
72	0,02667764	0,06034901	Seguir tanteando	1,99346354	82
73	0,02649428	0,05993423	Seguir tanteando	1,9929971	82
74	0,02631466	0,05952789	Seguir tanteando	1,99254347	82
75	0,02613864	0,05912971	Seguir tanteando	1,99210212	82
76	0,02596611	0,05873941	Seguir tanteando	1,99167258	82
77	0,02579694	0,05835674	Seguir tanteando	1,99125436	82
78	0,02563104	0,05798145	Seguir tanteando	1,99084704	82
79	0,02546831	0,05761331	Seguir tanteando	1,99045018	82
80	0,02530863	0,0572521	Seguir tanteando	1,99006339	82

i (evaluado)	$\sqrt{\frac{s^2}{i}}$	$e^* = t_9(0.975)\sqrt{\frac{s^2}{i}}$	Acción a tomar según valor de e^*	$t_{i-1}(0.975)$	i (tanteado)
81	0,02515192	0,05689759	Seguir tanteando	1,98968629	82
82	0,02499808	0,05654959	Seguir tanteando	1,98931852	82
83	0,02484703	0,0562079	Seguir tanteando	1,98895974	82
84	0,02469869	0,05587232	Seguir tanteando	1,98860963	82
85	0,02455298	0,05554269	Seguir tanteando	1,98826787	82
86	0,02440981	0,05521882	Seguir tanteando	1,98793417	82
87	0,02426912	0,05490056	Seguir tanteando	1,98760824	81
88	0,02413083	0,05458773	Seguir tanteando	1,98728982	81
89	0,02399488	0,05428019	Seguir tanteando	1,98697866	81
90	0,0238612	0,05397779	Seguir tanteando	1,9866745	81
91	0,02372974	0,05368039	Seguir tanteando	1,98637711	81
92	0,02360042	0,05338785	Seguir tanteando	1,98608627	81
93	0,02347319	0,05310005	Seguir tanteando	1,98580177	81
94	0,023348	0,05281685	Seguir tanteando	1,98552339	81
95	0,02322479	0,05253813	Seguir tanteando	1,98525096	81
96	0,02310351	0,05226377	Seguir tanteando	1,98498426	81
97	0,02298411	0,05199368	Seguir tanteando	1,98472314	81
98	0,02286655	0,05172772	Seguir tanteando	1,9844674	81
99	0,02275077	0,05146581	Seguir tanteando	1,9842169	81
100	0,02263673	0,05120783	Seguir tanteando	1,98397147	81
101	0,02252438	0,0509537	Seguir tanteando	1,98373095	81
102	0,0224137	0,05070331	Seguir tanteando	1,9834952	81
103	0,02230463	0,05045658	Seguir tanteando	1,98326409	81
104	**0,02219714**	**0,05021341**	**Valor límite**	**1,98303747**	**81**
105	0,02209118	0,04997373			