

Sistemas Computacionales



UNIVERSIDAD DE MEDELLIN



Sistemas Computacionales

Sistemas

Computacionales

Jaime Alberto Echeverri Arias
Editor académico



UNIVERSIDAD DE MEDELLIN



SISTEMAS COMPUTACIONALES

Primera edición: Agosto de 2008
© Universidad de Medellín

ISBN: 978-958-8348-36-0

Editor académico:
Jaime Alberto Echeverri Arias

Coordinación editorial:
Leonardo David López Escobar
Dirección electrónica: ldlopez@udem.edu.co
Universidad de Medellín.
Cra. 87 No. 30-65. Bloque 20, piso 2.
Teléfonos: 340 52 42 - 340 53 35
Medellín, Colombia

Distribución y ventas:
Universidad de Medellín
e-mail: selloeditorial@udem.edu.co
www.udem.edu.co
Cra. 87 No. 30-65
Teléfono: 340 52 42
Medellín, Colombia

Diagramación:
Hernán D. Durango T.

Diseño e impresión:
Logoformas S.A.
Calle 17A No. 69-62
Teléfono: 405 11 00
Bogotá, D.C., Colombia

Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida ni registrada, ni en todo ni en parte, por ningún medio inventado o por inventarse, sin el permiso previo, por escrito, de la Universidad de Medellín.

Hecho el depósito legal

CONTENIDO

PRÓLOGO.....	11
PRESENTACIÓN.....	13

CAPÍTULO 1

ANÁLISIS DE FENÓMENOS ESPACIO-TEMPORALES: UN CASO DE ESTUDIO DE BROTES EPIDÉMICOS

Francisco Javier Moreno A., Jaime Alberto Echeverri A.

1.1 INTRODUCCIÓN.....	15
1.2 FENÓMENOS A TRATAR.....	17
1.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS FENÓMENOS.....	19
1.3.1 Forma inicial puntual.....	19
1.3.2 Forma inicial lineal.....	20
1.3.3 Forma inicial de región.....	21
1.4 EJEMPLO DE APLICACIÓN.....	21
1.5 TRATAMIENTO DEL PROBLEMA.....	25
1.6 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	31

CAPÍTULO 2

EXPERIMENTOS DE LABORATORIO PARA LA ESTIMACIÓN DE REGLAS DE DECISIÓN EN DINÁMICA DE SISTEMAS

Santiago Arango, Yris Olaya Ph.D.

2.1 MODELOS DE TOMA DE DECISIONES EN DINÁMICA DE SISTEMAS.....	35
2.2 ESTIMACIÓN DE REGLAS DE DECISIÓN POR MEDIO DE EXPERIMENTOS DE LABORATORIO.....	38
2.3 ¿QUÉ ES UN EXPERIMENTO DE LABORATORIO?.....	39
2.3.1 Objetivo.....	40
2.3.2 Sistema/restricciones.....	41
2.3.3 Comportamiento.....	41

2.4	PROPÓSITO	42
2.5	TEORÍA DEL VALOR INDUCIDO.....	43
2.6	PARALELISMO.....	44
2.7	EXPERIMENTOS DE LABORATORIO PARA LA ESTIMACIÓN DE REGLAS DE DECISIÓN EN DINÁMICA DE SISTEMAS	45
2.7.1	¿Cómo se realiza un experimento de laboratorio en dinámica de sistemas?	46
2.8	CASOS DE APLICACIÓN	47
2.8.1	Caso de aplicación 1	48
	Reglas de decisión en un modelo de simulación de ciclos económicos.....	48
2.8.2	Caso de aplicación 2	51
	Reglas de decisión en un modelo de simulación de mercados eléctricos.....	51
2.9	CONCLUSIONES	54

CAPÍTULO 3

**PRUEBAS DE ESTRATEGIAS DE APRENDIZAJE
PARA UN SISTEMA INTERACTIVO MULTIMEDIAL
PARA LA REPÚBLICA DEMOCRÁTICA
DEL CONGO (RDC) - AFRICA**

Diana Maria Montoya Quintero, Gilmar Rolando Anaguano Jimenez

3.1	INTRODUCCIÓN	59
3.2	ALCANCE DEL SISTEMA.....	60
3.3	ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL SISTEMA	63
3.4	CURSOS VIRTUALES DE APRENDIZAJE APOYADO POR LA TEORIA DE BLENDED LEARNING	64
3.5	APLICACIÓN DE BLENDED LEARNING EN EL AULA.....	66
3.6	¿POR QUÉ USAR BLENDED LEARNING?	67
3.7	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	68
3.8	EL MODELO CONSTRUCTIVISTA EN LA EDUCACIÓN APOYADO POR LOS MAPAS CONCEPTUALES.....	70
3.9	¿PORQUÉ USAR LOS MAPAS CONCEPTUALES?	72
3.10	APLICACIÓN DE LOS MAPAS CONCEPTUALES EN EL AULA	74
3.11	ACTIVIDADES REALIZADAS.....	75
3.12	RESULTADOS Y CONCLUSIONES	77

CAPÍTULO 4

**PREFILTRAJE DE VARIABLES EN FILTRO KALMAN
PARA LA ESTIMACIÓN DE ESTADOS DE NAVEGACIÓN**

Carlos Alberto Ramírez Behaine, Jairo Miguel Vergara Díaz

4.1 INTRODUCCIÓN	81
4.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	83
4.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	83
4.4 PROPUESTA IMPLEMENTADA.....	85
4.5 RESULTADOS	87
4.6 CONCLUSIONES	89

CAPÍTULO 5

**SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE IMÁGENES
DE RECURSOS AMAZÓNICOS PROTOTIPO BASADO EN CONTENIDO
Y EN EL MANEJO DE LA CALIDAD**

*Jaime Alberto Echeverri Arias, Bell Manrique Losada,
Francisco Javier Moreno Arboleda, Laura Marcela Hoyos, John Fernández*

5.1 INTRODUCCIÓN	91
5.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	92
5.3 ESTADO DEL ARTE.....	94
5.3.1 Control de calidad en sistemas de búsqueda en la web	94
5.3.2 Técnicas de recuperación de imágenes en colecciones digitales	97
5.4 MÓDULO DE EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS	99
5.5 MANEJO DE LA CALIDAD	100
5.6 SELECCIÓN Y DEFINICIÓN DE CRITERIOS	101
5.7 ALGORITMO DE CLASIFICACIÓN.....	103
5.8 RESULTADOS	106
5.9 CONCLUSIONES	108

CAPÍTULO 6

**ESTIMACIÓN DE ESFUERZO
EN PROYECTOS DE DESARROLLO DE SOFTWARE.
UN NUEVO MODELO PARA ESTIMACIÓN TEMPRANA**

Ana Lucía Pérez, Liliana González, Juan Felipe Maillane Tabares

6.1 INTRODUCCIÓN	111
6.2 TÉCNICAS PARA LA ESTIMACIÓN DEL ESFUERZO DE ACUERDO CON EL TAMAÑO DEL PRODUCTO SOFTWARE	113

6.3 ANÁLISIS DE PUNTOS FUNCIÓN.....	113
6.4 PROCESO PARA EL CÁLCULO DE PUNTOS FUNCIÓN	114
6.5 PUNTOS CARACTERÍSTICA	125
6.6 PROCESO PARA EL CÁLCULO DE PUNTOS CARACTERÍSTICA	126
6.7 PUNTOS DE CASOS DE USO.....	128
6.8 PUNTOS OBJETO	134
6.9 UN NUEVO MÉTODO PARA CALCULAR EL ESFUERZO EN ETAPAS TEMPRANAS	138
6.10 RESULTADOS DEL “MODELO DE CAPACIDAD”	147
6.11 CONCLUSIONES	148

CAPÍTULO 7

**PROCESAMIENTO DIGITAL DE VÍDEO
UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE MATLAB®**

*Jaime Alberto Echeverri Arias, Jairo Miguel Vergara Díaz,
Luis Eduardo Naspiran Herrera, Luis Fernando Morales*

7.1 INTRODUCCIÓN	151
7.2 ANÁLISIS DEL PROBLEMA	152
7.3 DESARROLLOS PRÁCTICOS	156
7.4 CAPTURA DE VÍDEOS E IMÁGENES	156
7.5 DIVISIÓN POR TIEMPO	158
7.6 OPERACIONES GEOMÉTRICAS.....	159
7.7 OPERACIONES DE REALCE SOBRE UN VÍDEO	160
7.8 CONCLUSIONES	161

CAPÍTULO 8

FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO A LA ASIMILACIÓN ERP

Gladis Cecilia Villegas - Ph.D., Lillyana María Giraldo - Magíster

8.1 INTRODUCCIÓN	165
8.2 DEFINICIÓN.....	166
8.3 ANÁLISIS INDUSTRIAL.....	166
8.4 COMPARACIÓN DE LAS FUNCIONALIDADES DE LOS DOS PRODUCTOS LÍDER (SAP AG Y ORACLE CORPORATION)	168
8.5 JUSTIFICACIÓN PARA LA ADQUISICIÓN DE UNA SOLUCIÓN ERP.....	173
8.6 LOS EFECTOS DE LA INVERSIÓN	175
8.7 FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO	177
8.8 CONCLUSIÓN	179

PRÓLOGO

La Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad de Medellín, en desarrollo de la política de Socialización y Divulgación y comprometida con el desarrollo de las agendas de los Grupos de Investigación, realizó del 27 al 31 de agosto de 2007, las VIII Jornadas de Investigación I Internacionales.

El evento se propuso fortalecer la vida de los Grupos, promover su visibilidad, socializar logros y resultados de los procesos de investigación realizados por los profesores, y generar la interlocución con la comunidad científica nacional e internacional.

En este marco, y a través de doce simposios en las líneas de los grupos de investigación reconocidos por COLCIENCIAS, se instauró una discusión bastante amplia en torno a temas como: vigencia y prospectiva de la comunicación, la comunicación escrita en la universidad, narrativas audiovisuales, derecho contemporáneo, derecho administrativo, justicias alternativas, procesos de formación, responsabilidad social, desarrollos teóricos de punta en contabilidad, riesgos económicos y financieros, diseño de infraestructura, sistemas computacionales e investigación en la ingeniería ambiental.

La presencia de 20 investigadores de 9 países: Francia, Italia, Suiza, Estados Unidos, España, México, Argentina, Brasil y Colombia, 142 ponentes del ámbito nacional y local y 26 representantes del sector productivo hizo posible este debate que dejó grandes retos institucionales, entre los cuales se destaca incorporar la transferencia de conocimiento, la internacionalización y las alianzas estratégicas como procesos prioritarios en la búsqueda de soluciones creativas a los problemas sociales.

En este sentido, el siguiente texto recoge algunos de los principales aportes realizados por los profesores investigadores que participaron en el evento. Esperamos que lo allí consignado contribuya a estructurar las reflexiones que desde diferentes Grupos se vienen suscitando sobre problemáticas coyunturales del país que precisan de la intervención y de los aportes desde la academia.

Luz Doris Bolívar Yepes
Vicerrectora de Investigaciones

PRESENTACIÓN

Presentamos en este texto a la comunidad académica interesada en las temáticas de la ingeniería de sistemas y afines, avances investigativos en diferentes ramas de esta área del conocimiento, aprovechamos para hacer un reconocimiento a todos nuestros autores, evaluadores e igualmente a los comités científico y editorial que hacen posible esta obra.

En el 2005, cuando se conformó el grupo de investigación ARKADIUS del programa de Ingeniería de Sistemas de la Facultad de Ingenierías de la Universidad de Medellín, se planteó, la necesidad de divulgación de los resultados de investigación en eventos a nivel nacional e internacional. En esta oportunidad el grupo como organizador está satisfecho por la organización y por el desarrollo de estas jornadas pues las iniciativas que han resultado de este evento desde los estudiantes, profesores y ponentes son bastante prometedoras.

En las VIII JORNADAS DE INVESTIGACIÓN – I INTERNACIONALES, SIMPOSIO “I SEMINARIO INTERNACIONAL DE SISTEMAS COMPUTACIONALES”, realizado el 28 y 29 de agosto de 2007, un espacio idóneo para la divulgación, se presentaron los resultados alcanzados por el grupo ARKADIUS, y los mismos se muestran ante la comunidad académica. En el evento se tuvo la fortuna de contar con invitados especiales de otras instituciones que compartieron también sus resultados y experiencias de investigación.

Las temáticas de las ponencias de las VIII JORNADAS DE INVESTIGACIÓN PRIMERAS INTERNACIONALES, Y EL SIMPOSIO “I SEMINARIO INTERNACIONAL DE SISTEMAS COMPUTACIONALES” cubren, un amplio espectro en el que se

desarrollan aspectos como el procesamiento digital de video, análisis de fenómenos espacio-temporales, experimentos de laboratorio para la estimación de reglas de decisión en dinámica de sistemas, se presentan además pruebas de estrategias de aprendizaje para un sistema interactivo multimedial para la República Democrática del Congo, pruebas con el filtro Kalman para la estimación de estados de navegación, se muestra además un sistema de recuperación de imágenes de recursos amazónicos prototipo basado en contenido y en el manejo de la calidad, factores críticos de éxito a la asimilación ERP, la estimación de esfuerzo en proyectos de desarrollo de software, la segmentación de imágenes de rango aplicando mean shift y teoría bayesiana y un sistema de información para el etiquetado de discursos orales aplicado al nuevo sistema acusatorio penal.

Jaime Alberto Echeverri Arias
Editor Académico

CAPÍTULO 1

ANÁLISIS DE FENÓMENOS ESPACIO-TEMPORALES: UN CASO DE ESTUDIO DE BROTES EPIDÉMICOS

Francisco Javier Moreno Arboleda¹,

Jaime Alberto Echeverri Arias²

1.1 INTRODUCCIÓN

Desde la década de 1990 el desarrollo de las bases de datos espaciales ha sido un campo activo de investigación Guenther, (1990) y Smith, (1990). Se ha estimado que el 80% de las bases de datos corporativas contienen información con características inherentemente espaciales (Franklin, 1992). A partir de éstas se puede derivar información de gran interés para las organizaciones.

Una base de datos espacial maneja tipos de datos espaciales. Los tipos espaciales básicos como puntos, líneas, regiones, etc. permiten representar objetos del mundo real. Por ejemplo, una región sirve para representar ciudades, parques, edificios, desiertos, etc. Dependiendo de factores como la escala y la relevancia, un punto podría ser suficiente para representar, igualmente, algunos de estos objetos.

Se han propuesto diversos lenguajes de consulta espaciales: Güting (1994), Egenhofer (1994), Lin (2001) y Shekhar (2003), entre otros. En cuanto a modelos conceptuales espaciales puede verse un compendio en Burrough (1996).

¹ M.Sc. en Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia

² M.Sc Ingeniería de Sistemas, Universidad de Medellín

Recientemente, ha surgido un gran interés por fusionar las áreas espacial y temporal debido a la gran variedad de aplicaciones que se pueden beneficiar de esta integración. Esto ha dado lugar a las bases de datos espacio-temporales o bases de datos de objetos móviles. Una base de datos espacio-temporal soporta geometrías que cambian con el tiempo, ya sea en forma o posición Güting (2005). Uno de los trabajos más influyentes en esta área es el de Worboys (1994). Allí se define un objeto espacio-temporal como un objeto unificado que posee aspectos tanto temporales como espaciales.

En cuanto a lenguajes de consulta espacio-temporales, destacan las propuestas de Güting (2000), Chen (2000), Sistla (1997) y Huang (2002). Güting (2000) propone un lenguaje similar a SQL. Adiciona dos tipos básicos de datos espacio-temporales: mpoint (moving point) y mregion (moving region) más un conjunto de funciones que actúan sobre estos tipos de datos. El lenguaje de Chen (2000) se denomina SQLST y es una extensión del lenguaje SQLT (Chen, 1999). El objetivo de SQLST consiste en extender mínimamente el SQL para permitir consultas espacio-temporales. Sistla (1997) propone un modelo denominado MOST (Moving Objects Spatio-Temporal) y su correspondiente lenguaje de consulta FTL (Future Temporal Logic); y Huang (2002) propone una extensión espacio-temporal orientada a objetos para OQL del ODMG (Object Database Management Group).

Mucho del trabajo de Güting proviene del proyecto Chorochronos (Koubarakis, 2002), y ha sido recopilado en Güting (2005). El proyecto Chorochronos inició en 1996 con una duración de cuatro años y en él participaron más de 10 universidades europeas. El objetivo del proyecto fue diseñar, implementar y proponer una arquitectura para un STDBMS (Spatio Temporal Database Management System). Para lograr tal objetivo se definieron las siguientes tareas:

- estructura y representación del tiempo y del espacio
- modelos y lenguajes para STDBMS
- interfaces gráficas de usuario
- procesamiento de consultas

- estructuras de almacenamiento y técnicas de indexación
- arquitectura de un STDBMS

En cuanto a modelos conceptuales espacio-temporales están las propuestas de Parent (1999), Grumbach (1998), Chomicki (1999) y Khatri (2004).

A pesar de su gran desarrollo, las bases de datos espacio-temporales todavía ofrecen retos Peuquet (2002); su soporte y disponibilidad en los productos comerciales es incipiente (Oracle, 2006 y IBM, 2006); y algunas propuestas son demasiado genéricas y, por lo tanto, no permiten sacar provecho de las características particulares de determinadas aplicaciones.

En este artículo se analizan ciertos fenómenos espacio-temporales, que debido a sus características particulares requieren un tratamiento especializado. El modelo ha sido probado utilizando las características espaciales de DB2 de IBM.

1.2 FENÓMENOS A TRATAR

En el ambiente cotidiano hay fenómenos que son peligrosos para determinados elementos. Estos fenómenos exhiben características espacio-temporales, ya que a medida que el tiempo transcurre el fenómeno evoluciona espacialmente. Considérese, por ejemplo, una región donde se presenta un brote epidémico de una enfermedad peligrosa. Como casos concretos se pueden mencionar: el brote de SARS (neumonía atípica) en China y Hong Kong en 2002-2003; en los últimos años, el brote de las “vacas locas” en Inglaterra (principalmente), Irlanda, Alemania, Francia y otros países europeos; el dengue en 2007 en Camboya, etc.

Otros fenómenos con características similares son incendios forestales (casos concretos recientes en Grecia, California, Tasmania, Tenerife y Gran Canaria), propagación de olores (gases, caso reciente en Manhattan), derrames petroleros, etc.

Estos fenómenos requieren acciones prontas para su contención. Para afrontarlos se debe tener en cuenta, entre otros factores, su desarrollo espacial a medida que avanza el tiempo.

Los fenómenos que se analizan poseen las siguientes características: presentan tres etapas o fases de desarrollo: un inicio con características espaciales, un despliegue o expansión espacial y un final o contención; existe un agente o situación que da origen al fenómeno; el fenómeno se presenta en un marco de referencia espacial como una ubicación geográfica, una ciudad, el mar, un bosque etc.; en la fase inicial se supone que el fenómeno adopta una de las siguientes formas geométricas: punto, línea o región. Para la representación de la forma geométrica se deben tener en cuenta factores como la escala y la relevancia Egenhofer (1994), es decir, la selección entre un punto o una región, por ejemplo, depende del criterio del analista o de la naturaleza del fenómeno en sí.

A medida que avanza el tiempo, la forma geométrica que representa el inicio del fenómeno evoluciona espacialmente respecto a su forma original. El fenómeno evoluciona, gracias a elementos como el viento, la hierba, el movimiento del mar etc.; y se puede detener o mitigar, ya sea controlando los elementos que propician su expansión, atacándolo en sí o ejecutando ambas acciones.

La evolución del fenómeno tiene asociada una *rapidez* y una *intensidad*. La rapidez es el área por unidad de tiempo que adquiere el fenómeno mientras actúa libremente (no se realizan acciones para contenerlo). La intensidad es la capacidad, medida porcentualmente, de afectar elementos como personas, árboles, casas, animales etc. Por ejemplo, un fenómeno puede poseer una rapidez de 10 km²/h de expansión a la redonda y una probabilidad de 25% de afectar a las personas que estén expuestas a su zona de influencia. Estos valores pueden ser estimados mediante ayuda de expertos, estadísticas, estudio del fenómeno en sí, etc.

En este contexto, surgen consultas de interés como las siguientes: ¿cuáles regiones (distritos, Estados, etc.) intersecan con el brote espacial inicial de un fenómeno X ? ¿Cuál será la expansión, forma y área, del brote dentro de H horas? Luego de la expansión en un tiempo H : ¿cuáles regiones son afectadas por el fenómeno? ¿Cuántos habitantes están en la zona de influencia del fenómeno y cuántos están en riesgo de ser afectados por éste?

1.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS FENÓMENOS

Para representar un fenómeno como el expuesto en la sección 2 se requiere conocer:

- el medio donde se presenta y propaga,
- la rapidez,
- la forma geométrica que adquiere en la etapa inicial,
- la manera como evoluciona,
- la intensidad asociada a los elementos que el fenómeno afecta.

Si se considera un período de tiempo p , como el tiempo necesario para que un organismo se prepare para contener el fenómeno, a partir de dicho tiempo, de la forma inicial, de la manera de evolución y del parámetro de rapidez, se puede establecer el avance del fenómeno en un tiempo p . Esto permite considerar también el daño potencial causado por el fenómeno hasta ese momento en el medio (región).

1.3.1 Forma inicial puntual

Se presenta una forma inicial puntual, figura 1 a), cuando un elemento en particular (puntual) que reside en una región da inicio al fenómeno. Por ejemplo, un animal en una granja, un árbol en un bosque, una persona en un barrio, etc. A partir de la forma como el fenómeno se expande se puede aplicar la rapidez. La expansión se puede considerar uniforme alrededor del punto, figura 1 b); lineal, como un pez que se infecta en un río, figura 1 c); o tener una tendencia irregular, figura 1 d).

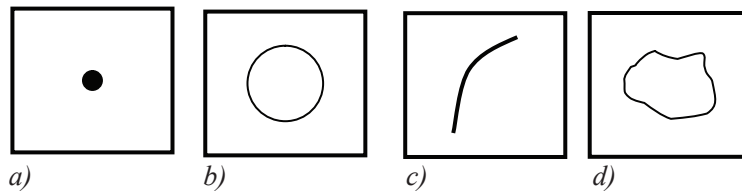


Figura 1. Etapa de inicio puntual: a) punto inicial, b) expansión uniforme, c) expansión lineal, d) expansión irregular. FUENTE: Elaboración propia.

1.3.2 Forma inicial lineal

Se presenta una forma inicial lineal cuando se infecta un río, un acueducto, un oleoducto, etc. Se proponen dos procedimientos que se deben aplicar antes de utilizar la rapidez para averiguar la expansión. Estos procedimientos se utilizan con el objetivo de facilitar el cálculo de la posible expansión del fenómeno. El organismo de control encargado debe seleccionar el procedimiento más apropiado de acuerdo con la naturaleza del fenómeno.

Suavizado

Consiste en trazar otra línea que tenga la misma tendencia que la línea inicial, pero que reduzca los cambios abruptos (picos) que pueda contener la primera. Un ejemplo se muestra en la figura 2.

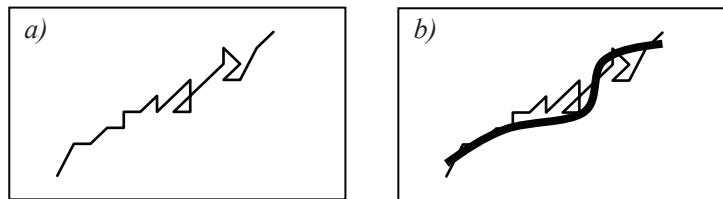


Figura 2. Suavizado: a) línea inicial, b) línea suavizada. FUENTE: Elaboración propia.

Envoltura convexa (convex hull)

Consiste en aplicar una envoltura convexa a la línea, es decir, encerrarla con un polígono que tiene el menor perímetro posible que la cubra. Un ejemplo se muestra en la figura 3.

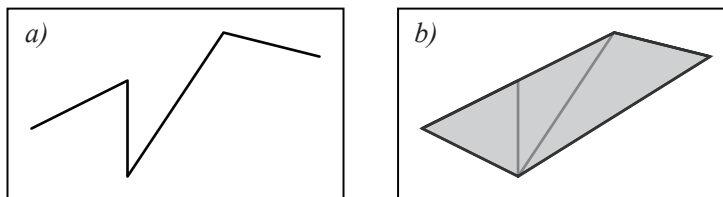


Figura 3. Envoltura convexa: a) línea inicial, b) envoltura convexa de la línea. FUENTE: Elaboración propia.

En el caso de la figura 3, debido a que la línea inicial es bastante abrupta, es más natural utilizar una envoltura convexa que un suavizado, ya que presumiblemente representa mejor la influencia del fenómeno en la zona.

1.3.3 Forma inicial de región

Se presenta una forma inicial de región, figura 4 a), cuando se infecta un barrio, una granja, un lago, etc. La expansión puede ser uniforme, figura 4 b); o irregular, figura 4 c). Si la región inicial posee picos o bahías hacia el interior, con el objetivo de suavizarla, antes de aplicar la rapidez de expansión, se puede encerrar en un rectángulo de mínima frontera, figura 4 d), en un círculo, aplicar una envoltura convexa (véase Sección 3.2.2) etc.

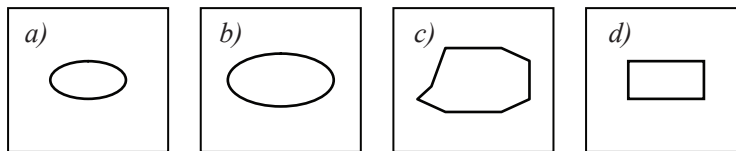


Figura 4. Etapa de inicio de región: a) región inicial, b) expansión uniforme, c) expansión irregular, d) envoltura convexa. FUENTE: Elaboración propia.

1.4 EJEMPLO DE APLICACIÓN

Sin perder generalidad, se presentará un caso de estudio referente a un brote epidémico y su correspondiente implementación en DB2. Se adopta como modelo conceptual el Entidad-Relación (ER) (Chen, 1976), y como modelo lógico, el modelo relacional (Codd, 1970) con extensiones espaciales.

Modelo ER y relacional

Sea el modelo ER de la figura 5.

El modelo ER se traduce a un modelo relacional con las siguientes tablas:

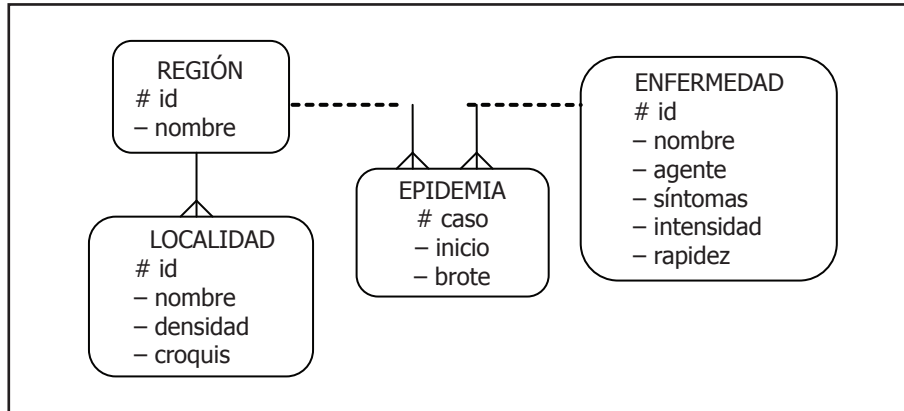


Figura 5. Modelo ER para el caso de las epidemias. FUENTE: Elaboración propia.

Tabla región

Contiene la información de la región geográfica donde se propaga la epidemia.

id: código de la región,

nombre: nombre de la región, por ejemplo, una ciudad.

Una muestra de datos se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Muestra de datos de la tabla región. FUENTE: Elaboración propia.

<i>Id</i>	<i>Nombre</i>
1	Medellín
2	Bogotá
3	Cali

Tabla localidad

Contiene la información de la división de la región. Si, por ejemplo, la tabla región representa ciudades, entonces cada ocurrencia de la tabla localidad puede representar un barrio. La tabla 2 presenta barrios de la ciudad de Medellín.

Tabla 2. Muestra de datos de la tabla localidad para la región de Medellín. FUENTE: Elaboración propia

<i>Id</i>	<i>Nombre</i>	<i>Densidad [hab/m²]</i>	<i>Id</i>	<i>Nombre</i>	<i>Densidad [hab/m²]</i>
ID_1	Cristo Rey	4149	ID_6	Belén Brisas	5721
ID_2	Campo Amor	3279	ID_7	Mallorca	1033
ID_3	San Pablo	3209	ID_8	La Mota	1307
ID_4	Santa Fe	2175	ID_9	Escobero	256
ID_5	Belén Parque	6641	ID_10	Castropol	2837

id: campo clave que representa la identificación de las localidades,

nombre: nombre de la localidad,

densidad: medida que indica la cantidad de habitantes que hay por kilómetro cuadrado; esto equivale a dividir el total de personas que hay en la localidad por el área de la misma,

croquis: representación espacial de cada localidad, es decir, su geometría, como se muestra en la figura 6. Esta columna es de tipo POLYGON (IBM, 2006),

id_reg: código de la región de la localidad.

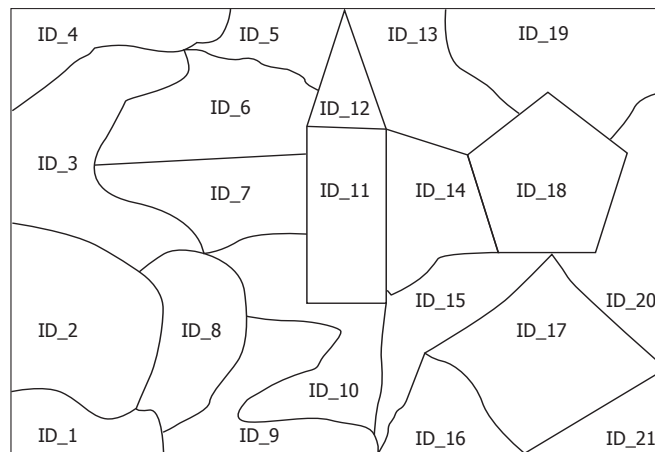


Figura 6. Representación del campo croquis de la tabla localidad. FUENTE: Elaboración propia.

Tabla enfermedad

Contiene la información relativa a las enfermedades, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Muestra de datos de la tabla enfermedad. FUENTE: Elaboración propia.

<i>Id</i>	<i>Nombre</i>	<i>Agente</i>	<i>Síntomas</i>	<i>Intensidad</i>	<i>Rapidez [M²/Hora]</i>
1024	Gripe Asiática	Virus de cepa A	Fiebre, tos, dolor de garganta, dolor muscular, neumonía viral.	0,93	975
1001	Ébola	Ébola-Reston	Fiebre alta, dolor de cabeza, vómito, diátesis hemorrágica con petequias	0,8	786
2166	Hanta	Hantavirus	Mialgia, escalofrío, tos seca, taquipnea, insuficiencia respiratoria.	0,63	124

id: código de la enfermedad

nombre: nombre de la enfermedad

agente: elemento causante de la enfermedad, i.e., un virus, un químico, etc.

síntomas: descripción de los síntomas de la enfermedad

intensidad: medida porcentual que indica la capacidad que tiene la enfermedad de infectar a otra persona

rapidez: medida que estima la distancia (m²) que se extiende la enfermedad a medida que pasa el tiempo (horas). Para este caso, se supone una propagación uniforme a través del terreno y no se tendrá en cuenta que en la realidad puede haber obstáculos (montañas, ríos, etc.) que impidan la propagación en alguna dirección.

Tabla epidemia

Posee la información sobre enfermedades que han generado epidemias a través del tiempo, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Muestra de datos de la tabla epidemia. FUENTE: Elaboración propia.

<i>Caso</i>	<i>Inicio</i>	<i>Brote</i>	<i>Id_región</i>	<i>Id_enf</i>
A1	12/05/1995	LINestring	1	1024
Z54	03/05/2007	POLYGON	1	1001
F4	09/25/2005	LINestring	1	1024
A7	05/05/2004	POINT	1	5999
G5	08/07/2005	LINestring	2	5666
P4	30/06/2004	POLYGON	2	1001
Z11	03/03/1993	LINestring	2	1024
Y7	10/12/1993	POLYGON	3	1001
C5	23/12/2001	POLYGON	3	1234
W3	14/05/2005	POLYGON	3	1001
R10	23/09/1998	POLYGON	3	1234
H7	20/04/2007	MULTIPOINT	3	1004

caso: código de la epidemia

inicio: fecha presumible en que comenzó la epidemia

brote: forma geométrica inicial de la epidemia

id_enf: código de la enfermedad

id_reg: código de la región

1.5 TRATAMIENTO DEL PROBLEMA

Supóngase que en la ciudad de Medellín aparece un brote epidemiológico puntual, véase Figura 7, y se desea saber aproximadamente como se extenderá para controlar la cadena de contagios (poner en cuarentena) y tomar medidas respecto a la población en riesgo.

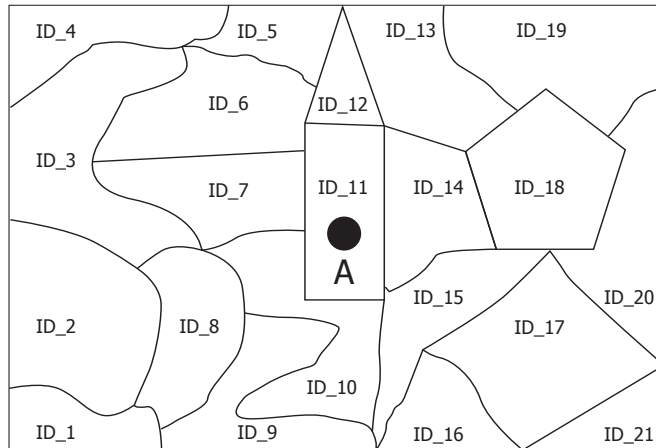


Figura 7. Aparición de un brote puntual. FUENTE: Elaboración propia.

Considérense las siguientes consultas:

1. ¿Cuáles localidades intersecan con el brote inicial de la epidemia A7?:

```
SELECT l.id
```

```
FROM localidad AS l, epidemia AS e
```

```
WHERE ST_INTERSECTS(l.croquis, e.brote) = 1 AND e.caso = 'A7';
```

Para obtener el resultado se utiliza la función ST_INTERSECTS de DB2. En este caso, la respuesta son las localidades ID_3, ID_7, ID_8 e ID_10.

2. Ante este tipo de fenómenos, los equipos de rescate, orden público y contención de epidemias poseen un tiempo promedio de respuesta. Los equipos tardan un tiempo determinado en llegar a la ubicación del brote y poner en cuarentena la zona posiblemente contagiada. Ese lapso de tiempo es “aprovechado” por la epidemia para avanzar y esto es lo que se calculará con ayuda de

la función BUFFER de DB2. ¿Cuál es la expansión del brote en un tiempo de 2 horas?:

```
CREATE VIEW expansion(brote_expandido, intensidad) AS
SELECT ST_BUFFER(e.brote, (2 * p.rapidez)), p.intensidad
FROM epidemia AS e, enfermedad AS p
WHERE e.caso = 'A7' AND e.id_enf = p.id_enf;
```

El resultado del brote expandido puede verse en la figura 8.

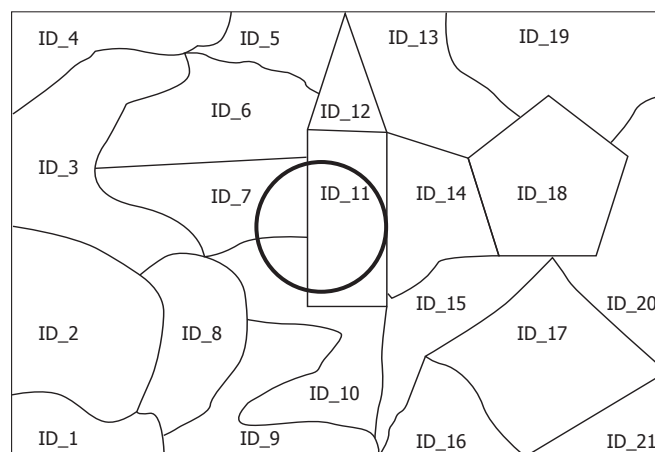

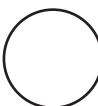






Figura 8. Expansión de un brote puntual. FUENTE: Elaboración propia.

Si se desea determinar cuáles localidades son afectadas por la epidemia luego de la expansión, se puede aplicar de nuevo la consulta 1.

La función ST_BUFFER toma como parámetros una geometría y una distancia. Retorna como resultado una geometría tal que cada punto de ella esté a la distancia especificada de la geometría ingresada como parámetro. En la tabla 5 se ejemplifica la función ST_BUFFER con algunas geometrías.

Tabla 5. Ejemplos de aplicación de la función ST_BUFFER.
FUENTE: Elaboración propia.

<i>Figura</i>	<i>Expansión</i>
	
	
	

- Conociendo la zona propensa a ser afectada (es decir, la expansión esperada), se puede hallar su área con el objetivo de determinar la cantidad de equipo y de personal a ubicar en la zona. Esto se puede lograr mediante la función ST_AREA de DB2:

```
SELECT ST_AREA(brote_expandido) AS area
FROM expansion;
```

- Supóngase que se desea conocer la cantidad de habitantes de cada localidad que está en la zona de riesgo. Para determinarlo, se descompone la zona de riesgo en varias subzonas, ya que el área de contagio interseca varias localidades y cada una de éstas tiene diferente densidad de población. Utilizando la operación de intersección se puede descomponer el área de cuarentena en las partes correspondientes a cada barrio.

La figura 9 muestra en color negro cómo se interseca la zona de expansión con la localidad ID_7.

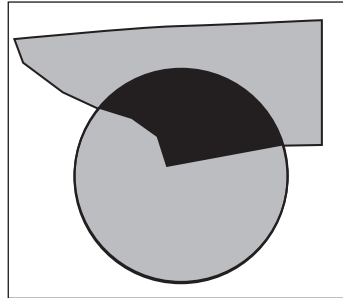


Figura 9. Intersección (en negro) del brote expandido con la localidad ID_7.
FUENTE: Elaboración propia.

```
CREATE VIEW poblacion_riesgo_localidad(id, poblacion_en_
riesgo) AS
SELECT l.id, ST_AREA(ST_INTERSECTION(l.croquis,
e.brote_expandido)) * l.densidad * e.intensidad
FROM localidad AS l, expansion AS e
WHERE ST_INTERSECTS(l.croquis, e.brote_expandido) = 1;
```

EXPLICACIÓN. Primero se halla la intersección del croquis de cada localidad con la forma expandida del brote epidémico. Luego se halla el área de la zona intersecada de cada localidad y se multiplica por su densidad poblacional. Finalmente, se multiplica por la probabilidad de contagio (intensidad).

5. ¿Cuál es la cantidad total de personas que están en riesgo?

```
SELECT SUM(poblacion_en_riesgo) AS total_poblacion_en_
riesgo
FROM poblacion_riesgo_localidad;
```

6. Considérese un brote epidémico lineal, figura 10 a), como el caso F4 de la muestra de datos de la tabla 4. Determinar la expansión del brote luego de 2 horas, si se considera: a) un suavizado b) una envoltura convexa.

a) `SELECT ST_BUFFER(ST_GENERALIZE(e.brote, 3), 2 * p.rapidez)`

FROM epidemia AS e, enfermedad AS p

WHERE e.caso = 'F4' AND e.id_enf = p.id_enf

La función `ST_GENERALIZE` toma una geometría y un umbral como parámetros de entrada, y representa dicha geometría con un número reducido de puntos, al mismo tiempo que conserva las características generales de la geometría. Cuanto mayor sea el umbral, menor será el número de puntos que se utilizarán para representar la geometría generalizada. En la consulta se ha utilizado un umbral de 3.

b) `SELECT ST_BUFFER(ST_CONVEXHULL(e.brote), 2 * p.rapidez)`

FROM epidemia AS e, enfermedad AS p

WHERE e.caso = 'F4' AND e.id_enf = p.id_enf;

La función `ST_CONVEXHULL` realiza la envoltura convexa del brote lineal.

En la figura 10 se ejemplifican los resultados del caso a) y b).

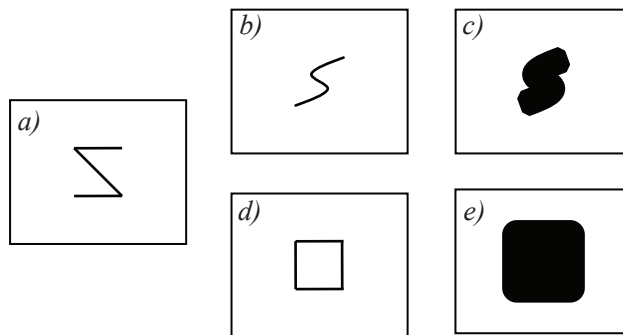


Figura 10. Expansión de brote lineal: a) línea inicial, b) línea suavizada, c) expansión de la línea suavizada, d) envoltura convexa de la línea inicial, e) expansión de la envoltura convexa. FUENTE: Elaboración propia.

1.6 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Se han analizado y caracterizado fenómenos espacio-temporales, que presentan una etapa inicial espacial que evoluciona a medida que avanza el tiempo. La evolución del fenómeno tiene asociada una rapidez, una manera y una intensidad. La rapidez es el área por unidad de tiempo que adquiere el fenómeno, y la intensidad es la capacidad que éste posee de afectar a ciertos elementos (personas, animales, casas, etc.). Se analizaron diversas posibilidades de expansión del fenómeno, dependiendo de la forma geométrica inicial que adopta. Se presentó un caso de estudio, implementado en DB2, para el tratamiento de brotes epidémicos. Hacia el futuro se espera trabajar con formas geométricas más complejas para representar el inicio de los fenómenos, como conjuntos de geometrías. También se espera adicionar al modelo condiciones más reales de expansión; por ejemplo, un incendio que se origina en un punto o en una región determinada no tiende a expandirse uniformemente. Su expansión está determinada por la dirección en la que sopla el viento, los obstáculos que surgen a su paso (ríos, regiones húmedas, regiones secas, etc.), facilidad de combustión de determinados elementos, etc.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolla en el marco del proyecto “*Modelo multidimensional espacio-temporal y su correspondiente lenguaje de consulta*”, de la Convocatoria Nacional de Investigación 2007, Modalidad 2, de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, y en el marco del Doctorado en Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, auspiciado por Colciencias, del cual el primer autor es becario.

1.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BURROUGH, P., FRANK, A. 1996. Spatial conceptual models for geographic objects with undetermined boundaries. (Londres). Taylor & Francis. 350pp.

- CHEN, P. P. (1976). The entity-relationship model - toward a unified view of data. *ACM Transactions on Database Systems (TODS)*, 1(1): 9-36.
- CHEN, C. X., ZANIOLO, C. (1999). Universal temporal extensions for database languages. 15th International Conference on Data Engineering ICDE'99, Sydney.
- CHEN, C. X., ZANIOLO, C. (2000). SQLST: a spatio-temporal data model and query language. ER 2000, Salt Lake City.
- CHOMICKI, J., REVESZ, P. (1999). A geometric framework for specifying spatiotemporal objects. TIME, Orlando.
- CODD, E. F. (1970). A relational model for large shared data bank. *CACM*, 13(6): 377-387.
- EGENHOFER, M. (1994). Spatial SQL: a query and presentation language. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 6(1): 86-95.
- FRANKLIN, C. (1992). An introduction to geographic Information systems: linking maps to databases. *Database*, 15(2): 12-21.
- GUENTHER, O., BUCHMANN, A. (1990). Research issues in spatial databases. *SIGMOD Rec.*, 19(4): 61-68.
- GRUMBACH, S., RIGAU, P., SEGOUFIN, L. (1998). Spatio-temporal data handling with constraints. ACM Symposium on Geographic Information Systems, Washington.
- GÜTING, R. H. (1994). An introduction to spatial database systems. Special Issue on Spatial Database Systems of the VLDB Journal, 3(4): 357-399.
- GÜTING, R. H., BOHLEN, M., ERWIG, M., JENSEN, C. S., LORENTZOS, N., SCHNEIDER, M., VAZIRGIANNIS, M. (2000). A foundation for representing and querying moving objects. *ACM Transactions on Databases Systems*, 25(1): 1-42.
- GÜTING, R. H., SCHNEIDER, M. 2005. *Moving objects databases*, (San Francisco). Morgan Kaufmann. 416pp.
- HUANG, B., CLARAMUNT, C. (2002). STOQL: An ODMG-based spatio-temporal object model and query language. Joint International Symposium on Geospatial Theory Processing & Applications, Ottawa.

- IBM. 2006. IBM DB2 Spatial extender and geodetic data management: feature version 9 Linux, UNIX, and Windows user's guide and reference. (Nueva York). IBM Corporation. 506pp.
- KHATRI, V., RAM, S., SNODGRASS, R. (2004). augmenting a conceptual model with geospatiotemporal annotations. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 16(11): 1324-1338.
- KOUBARAKIS, M., SELLIS, T. FRANK, A. 2002. *Spatio-temporal databases: the Chorochronos approach*. Sprienger Verlag. 352pp.
- LIN, H., HUANG, B. (2001). SQL/SDA: a query language for spatial analysis and its web-based implementation. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 13(4): 671-682.
- ORACLE. 2006. Oracle® spatial user's guide and reference. (San Francisco). Oracle Corporation. 592pp.
- PARENT, C., SPACCAPIETRA, S., ZIMÁNYI, E. (1999). Spatio-temporal conceptual models: data structures + space + time. 7th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems, Kansas.
- PEUQUET, D. 2002. *Representation of space and time*. (Nueva York). Guilford Press. 396pp.
- SHEKHAR, S., CHAWLA, S., 2003. *Spatial databases: a tour*. (Washington). Prentice Hall, 300pp.
- SISTLA, P., WOLFSON, O., CHAMBERLAIN, S., DAO, S. (1997). Modeling and querying moving objects. Thirteenth International Conference on Data Engineering (ICDE13), Birmingham.
- SMITH, T., FRANK, A. (1990). Very large spatial databases: report from the specialist meeting. *Journal of Visual Languages and Computing*, 1(3): 291-309.
- WORBOYS, M. (1994). A unified model of spatial and temporal information. *Computer Journal*, 37(1): 1994.

CAPÍTULO 2

EXPERIMENTOS DE LABORATORIO PARA LA ESTIMACIÓN DE REGLAS DE DECISIÓN EN DINÁMICA DE SISTEMAS

*Santiago Arango*¹

*Yris Olaya Ph.D.*²

2.1 MODELOS DE TOMA DE DECISIONES EN DINÁMICA DE SISTEMAS

Entre la gran variedad de metodologías de modelamiento asistidas por computador se destacan los modelos de dinámica de sistemas. Estos modelos representan la realidad por medio de sistemas de ecuaciones diferenciales no lineales. Los bloques básicos de los modelos de dinámica de sistemas son variables de estado (niveles) y tasas de cambio de las variables de estado (flujos). Por ejemplo, el total de una población es una variable de nivel mientras que la tasa de natalidad, que incrementa la población, es una variable de flujo.

Las variables de flujo controlan los estados del sistema y pueden describir tanto procesos naturales como decisiones humanas. Mientras las leyes físicas definen claramente los flujos en los procesos naturales, no existe una teoría unificada para representar las decisiones humanas. En los modelos de simulación, las decisiones humanas se representan por medio de funciones matemáticas, conocidas como reglas de decisión.

¹ Profesor asistente, Instituto de Ciencias de la Decisión, Universidad Nacional de Colombia

² Profesor asistente, Universidad Nacional de Colombia

Las decisiones humanas no son un proceso instantáneo; por el contrario, son un proceso que toma tiempo, como cocinar. Los ingredientes se miden, mezclan y cuecen, y tras un lapso de tiempo se tiene como resultado un plato –quizá bueno. Cuando los individuos o los grupos de personas en las organizaciones toman decisiones usan la información disponible, emplean procesos cognitivos y sociales y, después de un tiempo, alcanzan una decisión. El lapso de tiempo puede durar segundos, días, semanas o años, de acuerdo con el tipo de problema y con el ambiente institucional.

Por lo general, el proceso de toma de decisiones no se modela de manera explícita sino que una regla de decisión encuentra resultado directamente. Puesto que alcanzar la decisión final toma tiempo, la regla de decisión no representa la variable de flujo, sino un flujo indicado que alimenta el flujo real, con un retraso. En este sentido, la regla de decisión y el retardo conforman una representación simple de la dinámica del proceso de decisión, tal como se aprecia en la Figura 1.

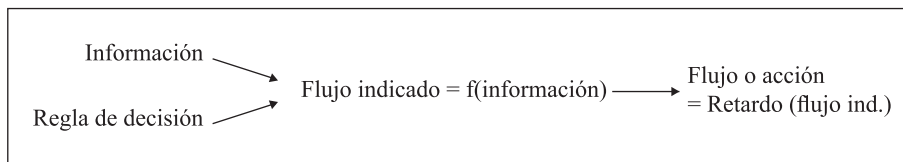


Figura 1. Definición de reglas de decisión para la simulación dinámica de sistemas. FUENTE: Elaboración propia.

Las reglas de decisión, en resumen, son funciones matemáticas que toman la información disponible, la transforman siguiendo una regla y la transmiten, con un retardo, para tomar la acción necesaria en el modelo. Estas reglas son la base del modelamiento de las decisiones humanas en los modelos de dinámica de sistemas. ¿Cómo deben formularse? Antes discutimos que los procesos físicos se modelan de acuerdo con las leyes de la física. De manera similar, las teorías del comportamiento humano deberían considerarse al modelar las decisiones humanas.

Hay dos teorías que explican la toma de decisiones. De acuerdo con la teoría neoclásica de la toma de decisiones racionales, los decisores maximizan su utilidad en un ambiente de información perfecta; aún más, los decisores racionales tienen expectativas no sesgadas acerca del futuro y las incorporan en sus decisiones actuales (Muth 1961; Lucas 1981). La teoría de la racionalidad limitada (Simon, 1979) contrasta con la de la racionalidad perfecta y propone que existen límites a la capacidad humana de procesar y emplear la información para tomar decisiones racionales.

La elección racional es la teoría dominante en economía. Como discutimos antes, esta teoría asume conocimiento perfecto de todas las alternativas disponibles, de los resultados de seguir estos cursos alternativos de acción y certidumbre acerca del resultado presente y futuro de dichas acciones. El decisor racional tiene la capacidad de comparar los resultados de sus acciones, no importa cuán diversos y heterogéneos sean. Aún más, como afirma Muth (1961, p. 316) *“puesto que las expectativas son predicciones informadas de eventos futuros, son en esencia, las mismas predicciones de la teoría económica relevante”*.

La teoría de la racionalidad limitada se aparta de este enfoque. Según la teoría de la racionalidad limitada, la gente busca procedimientos que transformen los problemas de toma de decisiones en problemas tratables, por ejemplo, buscando elecciones satisfactorias en lugar de óptimas o reemplazar metas globales y/o abstractas por sub-metas tangibles (Simon, 1979).

Simon (1979) introduce dos conceptos fundamentales de la teoría de racionalidad limitada: búsqueda y satisfactorio. La teoría postula que *“el decisor ha formado alguna aspiración en cuanto a la bondad de la alternativa que debe encontrar. Tan pronto como descubre una alternativa que cumple con su nivel de aspiración, termina la búsqueda y escoge dicha alternativa”* (Simon, 1979, p. 503). En este caso, el decisor tiene que buscar las opciones y luego decidir cuál satisface sus deseos. Entre los autores que han encontrado evidencia empírica de la validez de la teoría de la racionalidad limitada se

destacan Lovell 1986; Tversky y Kahneman 1987; Sterman 1989; Kampmann y Sterman, 1998; Dwyer, Williams et al. 1993; Levine 1993; Aggarwal, Mohanty et al. 1995; Diehl y Sterman 1995; Cashin, McDermott et al. 2002). Alrededor de la teoría de la racionalidad limitada se han desarrollado reglas heurísticas para modelar las decisiones (Kahneman y Tversky, 1987); al aplicar dichas heurísticas en ambientes dinámicos complejos, se encuentran desviaciones persistentes y sistemáticas de la racionalidad perfecta (Sterman, 2000).

Los problemas tratados por la dinámica de sistemas se caracterizan por su complejidad dinámica, no linealidad y retardos. Se ha demostrado que es difícil que exista racionalidad completa en tales ambientes (Sterman 1989; Kampmann y Sterman 1998; Paich y Sterman 1993; Diehl y Sterman 1995; Conlisk 1996; Moxnes 2004). Lo que las pruebas experimentales indican es que las reglas de decisión basadas en la teoría de la racionalidad limitada están más cercanas a la realidad (Sterman 2000) que las reglas de decisión basadas en racionalidad perfecta.

Las estrictas condiciones requeridas por los modelos de racionalidad perfecta no son coherentes con el tipo de problemas ni con las metodologías de la dinámica de sistemas. Por esta razón, resulta natural incorporar reglas de decisión que repliquen las limitaciones a la racionalidad de los decisores y que se basen en el comportamiento real de la gente. En este sentido, las técnicas desarrolladas recientemente en el campo de la economía experimental tienen grandes posibilidades de aplicación.

2.2 ESTIMACIÓN DE REGLAS DE DECISIÓN POR MEDIO DE EXPERIMENTOS DE LABORATORIO

Así como los ingenieros comprueban sus diseños usando laboratorios como túneles de viento, la economía experimental y la simulación se han convertido en el “Túnel de Viento” de los mercados (Miller, 2002) y en una de las metodologías más modernas para evaluar el diseño de mercados (Friedman y Sunder, 1994).

La economía experimental utiliza experimentos de laboratorio para estudiar el comportamiento en la toma de decisiones de sujetos humanos, motivados económicamente, en un ambiente controlado. La experimentación permite realizar pruebas directas de las suposiciones básicas de comportamiento, así como pruebas de hipótesis, y es una fuente de evidencia empírica para las teorías de mercados financieros, organización industrial, comportamiento del consumidor, etc.

En dinámica de sistemas, los experimentos de laboratorio se han usado para construir teorías a partir del comportamiento, así como para verificar y estimar la racionalidad de los modelos formales de toma de decisiones. A diferencia de la economía neoclásica y la dinámica de sistemas tradicional, los experimentos de laboratorio no hacen suposiciones acerca del comportamiento de los sujetos. Por el contrario, los experimentos permiten observar cómo se comportan los decisores en un ambiente definido por las reglas, instituciones y restricciones del sistema.

Como cualquier modelo, los experimentos de laboratorio son una simplificación de la realidad, y su utilidad se mide por su capacidad para mejorar la comprensión de cierta parte del universo. En las secciones que siguen, introduciremos los conceptos fundamentales para realizar experimentos de laboratorio en ambientes dinámicos y, en particular, su aplicación en dinámica de sistemas.

2.3 ¿QUÉ ES UN EXPERIMENTO DE LABORATORIO?

Cuando hablamos de un experimento de laboratorio en toma de decisiones, nos referimos a la realización de experimentos controlados de decisiones realizadas por sujetos humanos. Los experimentos de laboratorios poseen tres elementos básicos: un objetivo (pago), un conjunto de restricciones (descripción del sistema, reglas de comportamiento) y el comportamiento de los participantes (decisiones). En este ambiente, el experimentador controla el *objetivo* y las *restricciones*, para observar el *comportamiento*.

Un ejemplo de esto es el experimento de control de las emisiones totales globales de CO_2 de Moxnes y Saysel (2007), ilustrado en la Figura 2. En este experimento, el *objetivo* es minimizar las diferencias entre el nivel de CO_2 (concentración) en la atmósfera y la meta de CO_2 deseada (error acumulado). Las restricciones del sistema son las restricciones físicas representadas en el diagrama de niveles y flujos de la figura: la concentración de CO_2 en la atmósfera (nivel) se incrementa con las emisiones y disminuye con la absorción de CO_2 en la superficie terrestre. Por último, el *comportamiento* se observa a través de las decisiones de emisiones que son función de la meta y la medición de concentración de CO_2 .

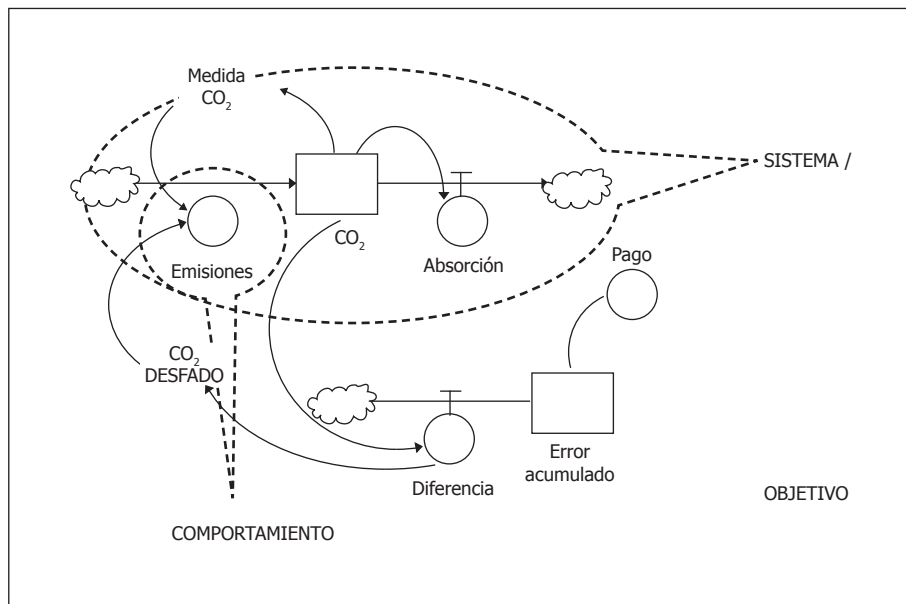


Figura 2. Ejemplo de un experimento básico y sus componentes en dinámica de sistemas. FUENTE: Elaboración propia.

2.3.1 Objetivo

En los experimentos de laboratorio se desea que los individuos participantes representen a los tomadores de decisiones del mundo

real, y es por esto que los *incentivos* son cruciales para inducir un comportamiento representativo en los sujetos. Sin un objetivo, el experimento se convierte en un “juego de rol” donde los participantes toman cualquier decisión con fines particulares, no necesariamente los contemplados en el diseño del experimento. Los objetivos del juego buscan que el investigador controle el experimento; para reforzar los objetivos, se otorga a los participantes del experimento un pago, por lo general monetario, y superior al costo de oportunidad de los participantes.

2.3.2 Sistema/restricciones

Consiste en la representación o descripción del ambiente en el cual se mueven los sujetos. El sistema y restricciones son el conjunto de reglas que definen las acciones permitidas y las prohibidas, el tipo de instituciones que se modelan, el nivel de competencia, entre otros factores. El nivel de detalle empleado depende del propósito del experimento. En ocasiones se representan sistemas por medio de modelos muy detallados y en otras ocasiones representaciones usan modelos sencillos para representar las partes fundamentales de las teorías.

2.3.3 Comportamiento

En un experimento de laboratorio, el comportamiento es el conjunto de decisiones tomadas por los sujetos, las cuales revelan las preferencias de los participantes.

La idea básica con un experimento de laboratorio es que el experimentador controle tanto el *objetivo* como el *sistema/restricciones* para observar el *comportamiento*. Esto es, un experimento se diseña para responder a preguntas específicas a través del análisis del comportamiento, a la luz del objetivo y de las restricciones. Un experimento puede, por ejemplo, responder a preguntas acerca de la validez de las teorías y de las suposiciones acerca del comportamiento humano o, empleado en un contexto más amplio, puede servir como herramienta de aprendizaje.

El diseño del experimento debe, entonces, acomodarse a su propósito. En la próxima sección discutiremos algunos de los objetivos más comunes en los experimentos de laboratorio aplicados a la dinámica de sistemas.

2.4 PROPÓSITO

La mejor manera para diseñar, realizar y analizar los resultados de un experimento es establecer un propósito claro y adaptar el diseño del experimento a él. Un investigador puede tener muchos propósitos diferentes para hacer un experimento, incluyendo las pruebas directas de la teoría, pruebas de alternativas pedagógicas (micromundos) y, en particular, la búsqueda de reglas de decisión y la recolección de información para apoyar la toma de decisiones. A continuación se explican estos dos propósitos, los cuales son de interés en este artículo.

Búsqueda de reglas de decisión. Uno de los propósitos de los experimentos de laboratorio de mayor interés para la dinámica de sistemas es la confirmación o rechazo de las reglas de decisiones utilizadas en los modelos de simulación, en particular en sistemas grandes como industrias o macroeconomía. Algunos experimentos son la estimación de la inversión de capital en un modelo simple macroeconómico (Stern, 1987) o la estimación de reglas de inversión en un mercado eléctrico simplificado (Arango, 2006) que se presentarán en una sección posterior.

Recolección de información para apoyar la toma de decisiones. Los resultados experimentales pueden apoyar la toma de decisiones y la formulación de políticas. Por ejemplo, los experimentos de Grether y Plott (1984) mostraron el efecto del poder de mercado en el caso del etileno. Otra aplicación es el diseño de mercados, como en el caso del mercado de certificados de energía verde en Noruega (Vogstad et al, 2005) y de mercados eléctricos (Rassenti *et al* 2002, 2003). Los experimentos se han aplicado también al estudio del comportamiento de los consumidores, en el análisis de las preferencias reveladas y la inducción de comportamientos, así como al análisis del comportamiento de los votantes.

Una vez definido el propósito del experimento, el siguiente paso es diseñar un objetivo que cumpla dicho propósito. El diseño del objetivo se basa en la teoría del valor inducido, propuesta por Vernon Smith en 1976, la cual postula que los incentivos pueden inducir características específicas en los sujetos. A continuación, discutiremos la aplicación de la teoría del valor inducido al diseño de experimentos.

2.5 TEORÍA DEL VALOR INDUCIDO

Al aplicar la teoría del valor inducido (Smith, 1976) se utiliza un incentivo para inducir características específicas en los sujetos participantes de los experimentos (Friedman y Sunder, 2004). El incentivo es el pago que reciben los participantes. Este pago es función del desempeño de cada participante respecto al objetivo, y está definido en las reglas del experimento. El incentivo induce a los sujetos a comportarse de forma que se obtenga el objetivo del experimento; de esta manera, las características personales de los sujetos se vuelven irrelevantes y es posible encontrar la estructura de preferencias de los individuos. Denotemos la función de preferencias de los sujetos como $U(m,z)$ donde m es el pago y z con otros factores. El comportamiento de los sujetos respecto a los pagos debe satisfacer los siguientes preceptos:

Monotonía. Los sujetos siempre prefieren más pago sin llegar a estar totalmente saciados. Esto es que $dU/dm > 0$, lo cual significa que la derivada parcial de U existe y es positiva para toda posible combinación de m y z . Por lo general, esta condición se satisface cuando los pagos se efectúan en moneda local.

Claridad. Los sujetos comprenden completamente las reglas del experimento y saben cómo pueden incrementar su pago. Un incremento en el pago Δm depende de las acciones, tal como está definido en las reglas. Por ejemplo, si se pagan 10.000 pesos colombianos sólo por participar, el pago no depende de las acciones, y el experimento no cumple con la condición de claridad.

Dominación. El pago por el experimento tiene que ser el factor dominante en el comportamiento y no puede haber influencia de

otros factores externos. Esto es, m debe dominar los factores desconocidos, z . Esto se logra por medio de la privacidad del experimento, donde los sujetos no conocen ni el pago de los otros sujetos ni el propósito del experimento ni los valores del experimentador.

Los requerimientos anteriores: monotonía, claridad y dominación afectan la selección y el diseño del experimento (Vogstad et al, 2005). Primero, la monotonía implica que un pago monetario es más conveniente que, por ejemplo, un pago en especie (como comida). Segundo, las limitaciones cognitivas de los sujetos limitan la complejidad del experimento, lo que implica que un experimento con demasiados detalles puede entrar en conflicto con el requerimiento de claridad. Tercero, el pago debe ser lo suficientemente grande para dominar los otros factores. Por lo general, los estudiantes de pregrado y de maestría son mejores sujetos experimentales que los profesores y estudiantes de doctorado, ya que estos últimos tienden a explorar las teorías que podrían dominar el comportamiento, en lugar de enfocarse en el objetivo del experimento.

2.6 PARALELISMO

Con frecuencia se critica la investigación empírica por basarse en modelos simplificados que no representan la realidad de manera adecuada. Por ejemplo, en el caso de la experimentación económica, las críticas apuntan a que los resultados no son representativos de la vida real y, por lo tanto, la experimentación no es válida (Friedman y Sunder, 1994). Críticas similares se escuchan en otras disciplinas, por ejemplo, en el caso de la extrapolación de los resultados de experimentos en ratas a los seres humanos.

Una forma de ajustar el diseño de los experimentos, en particular de los experimentos de toma de decisiones, a la realidad, es utilizar el principio de *inducción* (Friedman y Sunder, 1994). De acuerdo con el principio de inducción, las regularidades en el comportamiento persisten en nuevas situaciones, siempre y cuando las condiciones fundamentales sean similares (Smith, 1982). El planteamiento de una

teoría particular define, en principio, cuáles son las condiciones fundamentales para su aplicación. Vernon Smith denominó al principio de inducción como *paralelismo*.

Un escéptico de un experimento debería mostrar claramente en qué discrepa el experimento del mundo real; con base en esta discrepancia, puede realizarse un experimento nuevo que permita estimar su efecto. En otras palabras, las críticas deber servir para promover la investigación constructiva y no las discusiones estériles (Friedman y Sunder, 1994).

Una de las virtudes de los experimentos es precisamente su simplicidad y su potencial para controlar distintas variables. Esta virtud es bastante útil en estudios de campo donde hay mucho ruido involuclado. Está claro que un experimento no es la realidad, sino una simplificación de esta; no obstante, los experimentos son procesos reales porque se realizan con sujetos reales, quienes consiguen ganancias reales por seguir las reglas. Esta realidad de los experimentos es lo que los hace interesantes y les da validación externa (Plott, 1986).

2.7 EXPERIMENTOS DE LABORATORIO PARA LA ESTIMACIÓN DE REGLAS DE DECISIÓN EN DINÁMICA DE SISTEMAS

Por lo general, los experimentos de laboratorio en dinámica de sistemas buscan estudiar el comportamiento de las personas en ambientes dinámicos. La experimentación permite, entonces, estimar y validar las suposiciones de los modelos acerca de la racionalidad en la toma de decisiones.

Las reglas de decisión se estiman a partir de los resultados de los experimentos y aplicando métodos estadísticos. Para validar dichas reglas, se realizan múltiples simulaciones del modelo desarrollado, tal como se aprecia en la Figura 3, donde se comparan los resultados de aplicar diferentes funciones de inversión, estimadas asumiendo cierta racionalidad en la toma de decisiones (Arango y Moxnes, 2007), con los datos experimentales.

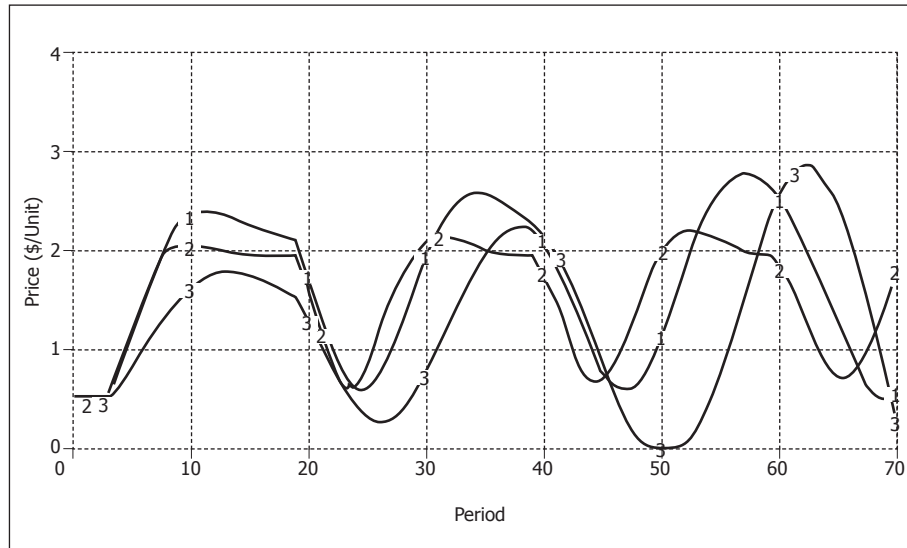


Figura 3. Ejemplo de simulación con diferentes parámetros (líneas 1 y 2) vs resultados experimentales en un experimento de ciclos de mercados eléctricos. (FUENTE: Arango y Moxnes, 2007). FUENTE: Elaboración propia.

2.7.1 ¿Cómo se realiza un experimento de laboratorio en dinámica de sistemas?

Al igual que la construcción de modelos de dinámica de sistemas, la realización de experimentos sigue un método iterativo. Los resultados de los experimentos nos llevan a replantear la misma teoría, a formular hipótesis alternativas y a mejorar el experimento.

El proceso de realización de un experimento de laboratorio para estimar reglas de decisión en dinámica de sistemas tiene los siguientes pasos:

Identificación de problema. Además de la descripción, la identificación del problema incluye la identificación de la teoría relevante para su explicación y la formulación de las hipótesis sobre el comportamiento

Diseño de un experimento piloto: en este diseño inicial se describen las especificaciones y las instrucciones.

Mejoras y simplificaciones del experimento: en esta etapa se realiza el diseño de los casos de análisis, se ajustan los parámetros y se obtiene o desarrolla todo el material necesario para llevar a cabo los experimentos (incluido el software).

Realización del experimento: en este paso se llevan los sujetos al laboratorio para realizar el experimento sobre toma de decisiones.

Análisis y reporte: este es el paso donde se analizan y reportan los resultados del experimento, a la luz de las teorías relevantes y las hipótesis planteadas.

La tecnología tiene un papel fundamental en la realización y análisis de los resultados en experimentos. En sus inicios, la economía experimental empleó métodos manuales aplicados en ocasiones en los mismos salones de clase; con el desarrollo de la computación, los laboratorios pasaron a salas de cómputo adecuadas.

Cuál tecnología se emplee depende del experimento particular. En algunos experimentos, los sujetos interactúan con el computador únicamente y, por lo tanto, bastará un equipo portátil para realizar las pruebas. En otras situaciones, como en experimentos de mercados, es de interés controlar la interacción entre los sujetos, el flujo de información y las redes y, por lo tanto, se necesitará configurar un conjunto de equipos en red (por ejemplo) para llevar a cabo el experimento. La comunidad de dinámica de sistemas cuenta con aplicaciones comerciales especializadas que permiten hacer experimentos. En particular, Powersim Constructor permite la realización de juegos en red y, por lo tanto el modelamiento de mercados experimentales (ver Arango, 2006; Arango y Moxnes, 2007). La tradición en la economía experimental, sin embargo, es crear software personalizado, por lo general, usando aplicaciones de Internet. En las siguientes secciones ilustraremos los conceptos introducidos hasta ahora con dos casos de aplicación.

2.8 CASOS DE APLICACIÓN

En esta sección ilustramos los conceptos introducidos con dos casos de aplicación. El primero se refiere a la estimación de reglas de deci-

sión en un modelo de simulación de ciclos económicos, y el segundo, a la estimación de reglas de decisión en un modelo de simulación de mercados eléctricos. Estos permiten ver la aplicación de la metodología como un todo, desde el problema planteado hasta los resultados de simulación de las reglas de decisión estimadas.

2.8.1 Caso de aplicación 1

Reglas de decisión en un modelo de simulación de ciclos económicos

Este caso es, probablemente, el primer reporte formal en la literatura de dinámica de sistemas. Sterman (1987) muestra cómo pueden aplicarse experimentos de laboratorio y pruebas directas para estimar y validar las reglas de decisión en modelos de simulación. En esta aplicación se emplea la experimentación directa, por medio de juegos de simulación en los cuales los sujetos asumen el rol del sistema modelado, dentro de un contexto institucional y con un conjunto de información, pero con libertad para tomar decisiones. De esta manera, Sterman simula las reglas de decisiones supuestas a partir de la teoría relevante para explicar el problema, y las compara con las suposiciones tradicionales.

El proceso experimental desarrollado por Sterman para probar reglas de decisión en modelos de dinámica de sistemas es el siguiente:

- Identificar las suposiciones de la regla de decisión o estructura a ser probada.
- Convertir el modelo original en un “juego” o “simulador” interactivo en el cual los sujetos tengan el rol de tomadores de las decisiones de “juego”.
- Realizar el experimento, siguiendo los protocolos estándar de economía experimental.
- Comparar los resultados experimentales con los resultados originales del modelo de simulación.

Al aplicar este método, queda claro que la correspondencia entre los resultados experimentales y simulados no valida el modelo, pues las suposiciones de estructura física, información y preferencias podrían ser falsas. En este sentido, lo que muestran los resultados exitosos de tal procedimiento es que, bajo ciertas condiciones institucionales, los sujetos se comportan de la misma manera que se supuso al inicio.

En este caso particular se estima la regla de decisión de inversión en capital para un modelo macroeconómico sencillo. La idea de que los flujos de inversión tienen efectos que se propagan en el tiempo por medio de un multiplicador está bien establecida dentro de las teorías más populares de los ciclos económicos. Aunque estas teorías se han probado con datos agregados, no se ha verificado si el comportamiento agregado que predicen es consistente con las decisiones individuales. Esta última verificación puede hacerse en un laboratorio de toma de decisiones.

El modelo de Sterman (1987) captura la interacción entre el multiplicador y el acelerador. La idea básica es que los sujetos tomen sus decisiones de inversión tratando de balancear la oferta y la demanda en el tiempo. El modelo representa una firma típica que produce capital y posee una estructura de niveles y flujos para adquisición de capital, que incluye el retardo de construcción del capital. Las órdenes de productos se acumulan en el déficit (backlog), el cual se reduce con la producción. La capacidad y su utilización determinan la producción. La utilización de la capacidad es una función no lineal de la relación entre producción deseada y capacidad. La capacidad depende del nivel de capital y la relación de capital a producción. El capital aumenta con las adquisiciones y disminuye con la depreciación que, a su vez, decrecen exponencialmente. Las órdenes de capital se entregan con un retardo y se acumulan en la cadena de abastecimiento hasta que se completa su construcción, aumentando el capital productivo.

La regla de decisión se construye a partir de los principios de racionalidad limitada. La decisión clave en este modelo es la decisión de órdenes de capital. La firma debe decidir cuánto capital ordenar en cada período de tiempo, dada cierta información sobre el déficit

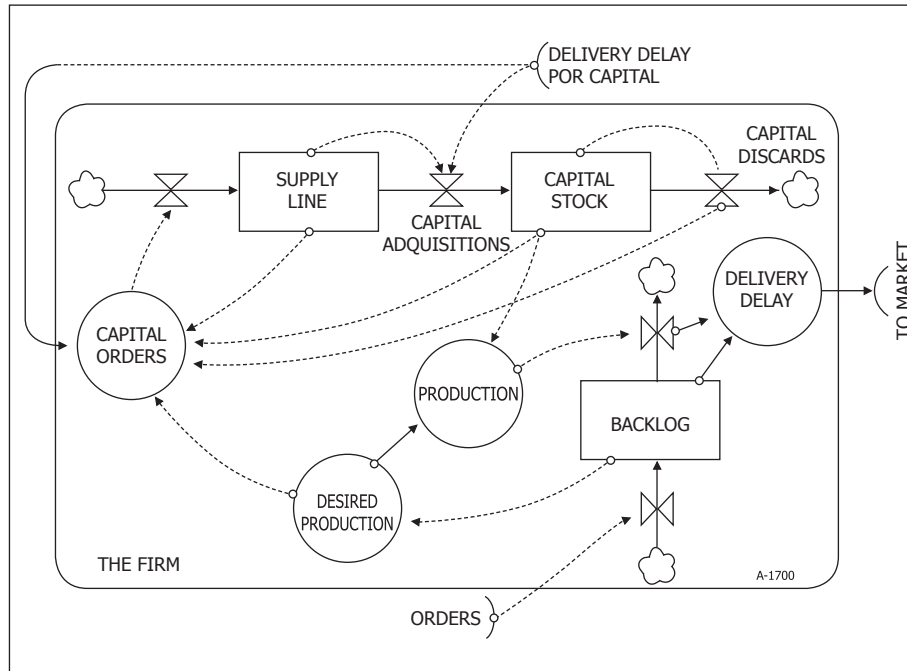


Figura 4. Estructura del modelo de simulación de ciclos macroeconómicos (Tomado de Sterman, 1987, p. 1578). FUENTE: Elaboración propia.

actual, la capacidad, la capacidad en construcción, el retardo de adquisición de capital y el comportamiento histórico de las órdenes de los consumidores. La formulación matemática detallada de la regla de decisión está en Sterman (1987, p. 1578 – 1580).

Los resultados de los experimentos corroboran la regla de decisión original, la cual induce oscilaciones disfuncionales en el sistema. El experimento muestra que la regla de decisión continua y agregada puede ser una excelente representación para el comportamiento real. De acuerdo con los resultados experimentales de Sterman, el comportamiento de los sujetos humanos no es significativamente diferente del comportamiento de la regla de decisión en lo que respecta a las inversiones asumidas en el modelo. Esto se observa en la Figura 5, que muestra el comportamiento del modelo de simulación con los parámetros estimados en los experimentos.

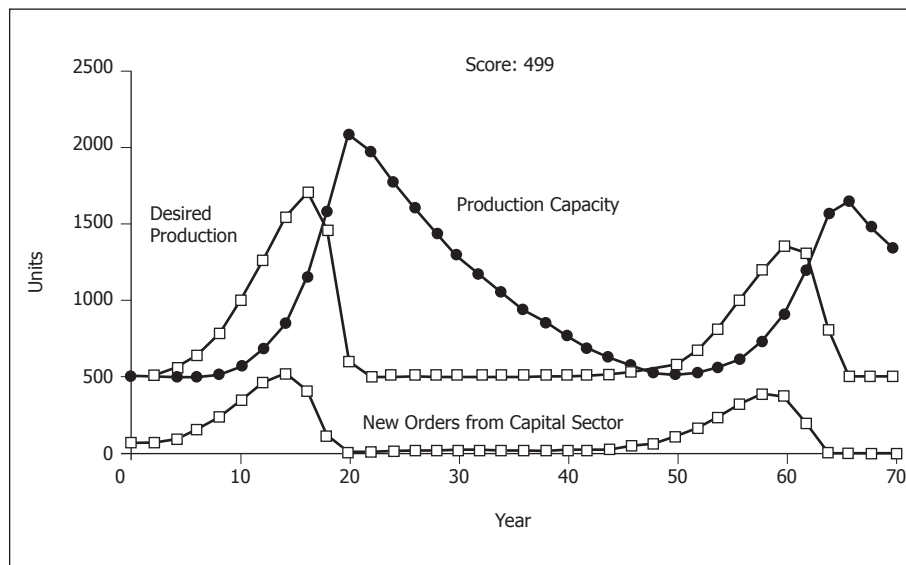


Figura 5. Simulaciones con la regla de decisión estimada a partir de los experimentos (Tomado de Sterman, 1987, p. 1587). FUENTE: Elaboración propia.

La importancia de este trabajo está en que muestra el potencial de los métodos experimentales como una metodología complementaria a la econometría para validar y probar los modelos de simulación, incluyendo los de dinámica de sistemas; los trabajos experimentales posteriores han confirmado los resultados de este estudio inicial (ej. Sterman, 1989; Moxnes, 1998; Arango, 2006).

2.8.2 Caso de aplicación 2

Reglas de decisión en un modelo de simulación de mercados eléctricos

En este caso se estiman reglas de decisión para modelos de simulación de mercados eléctricos (Arango y Moxnes, 2007). La importancia de esta aplicación está en el empleo de experimentos de laboratorio para estimar reglas de decisión cuando no se cuenta con información completa histórica del sistema. En la aplicación se usa la experimentación directa usando un mercado con cinco jugadores cada uno, donde los sujetos juegan el rol de productores

de electricidad en un mercado competitivo y son remunerados de acuerdo con su desempeño.

En este caso de aplicación, se tiene el caso de estimación de la regla de decisión de inversión en nueva capacidad de generación para un mercado eléctrico no regulado. La estructura del modelo es conocida y aceptada en la literatura de modelamiento de mercados eléctricos, pero la función de inversión ha sido el punto crítico para la validación del modelo Ford, (1999), Bunn and Larsen, (1992).

La idea básica es que los sujetos toman sus decisiones de inversión de manera que maximizan sus utilidades en un mercado. El mercado es tipo Cobweb con condiciones estándares Huck (2004), cuyas diferencias son la inclusión de 4 años para el retardo de inversión y 16 años de vida útil de las plantas de generación de electricidad. La estructura de niveles y flujos para adquisición de nuevas plantas incluye el retardo de construcción. La capacidad instalada de generación se incrementa con la iniciación de construcción y se reduce con la depreciación, la cual declina exponencialmente.

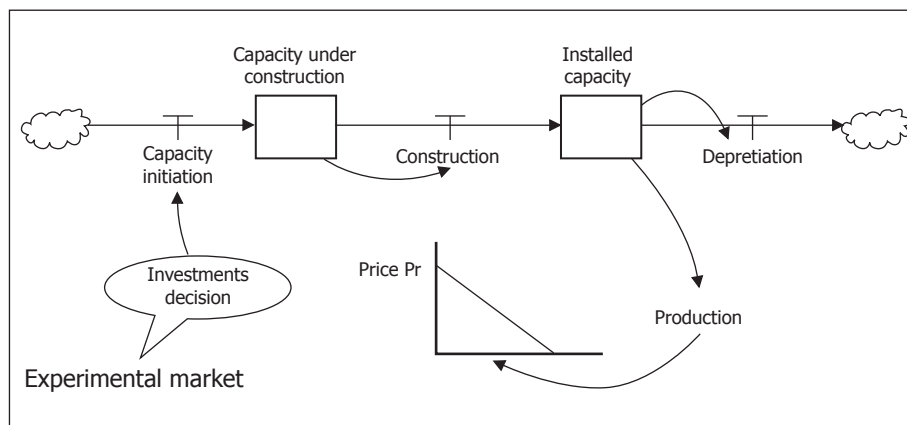


Figura 6. Dinámica de un experimento de inversiones en un mercado eléctrico desregulado. FUENTE: Elaboración propia.

La regla de decisión se construye a partir de los principios de racionalidad limitada. La regla sigue dos pasos: primero, los sujetos

forman expectativas de precios futuros, y luego, deliberan sobre el tamaño de las inversiones. La regla de decisión o función de inversión está inspirada en la dinámica de inversiones formulada teóricamente por Stoft (2002). Este es consistente con el heurístico de anclaje y ajuste de Tversky & Kahneman (1987). La función planteada es

$$x_t = \text{MAX} (0, C_t/\tau + \alpha_C (C_t^* - C_t) + \alpha_{SC} (k/\tau C_t^* - SC_t))$$

Donde la función max evita tener inversiones negativas, la capacidad C_t , dividida por la vida útil τ , denota el nivel norma de inversiones de reemplazo de las depreciaciones de capacidad. α_C determina la velocidad de ajuste hacia la capacidad deseada C_t^* . Finalmente, α_{SC} determina qué tan rápido se ajusta la capacidad en construcción hacia la capacidad en construcción deseada $k/\tau C_t^*$, donde k es igual al retardo de inversión de 4 años.

La capacidad deseada, C_t^* , es

$$C_t^* = \text{MAX} (0, a + \left(\frac{q^e - a}{P^e} \right) P_t^*)$$

La cual es una función no lineal del precio P_t^* . Cuando P_t^* iguale el precio de equilibrio P^e , la capacidad deseada C_t^* iguala la producción de equilibrio q^e . Finalmente, las expectativas de precios futuros se asumen como expectativas adaptativas (Nerlove, 1958).

Los resultados de los experimento respaldan la función de inversión propuesta en el modelo, cuyo comportamiento muestra oscilaciones disfuncionales del sistema. Las regresiones realizadas muestran que los sujetos tenían parámetros de 0.33, relativamente alto para ambientes inciertos como este. El experimento muestra que el comportamiento de los sujetos humanos es similar a las inversiones asumidas en el modelo. La muestra el comportamiento del modelo de simulación, con los parámetros originales asumidos y los resultados de los experimentos. Se observa la ocurrencia de ciclos en ambos casos.

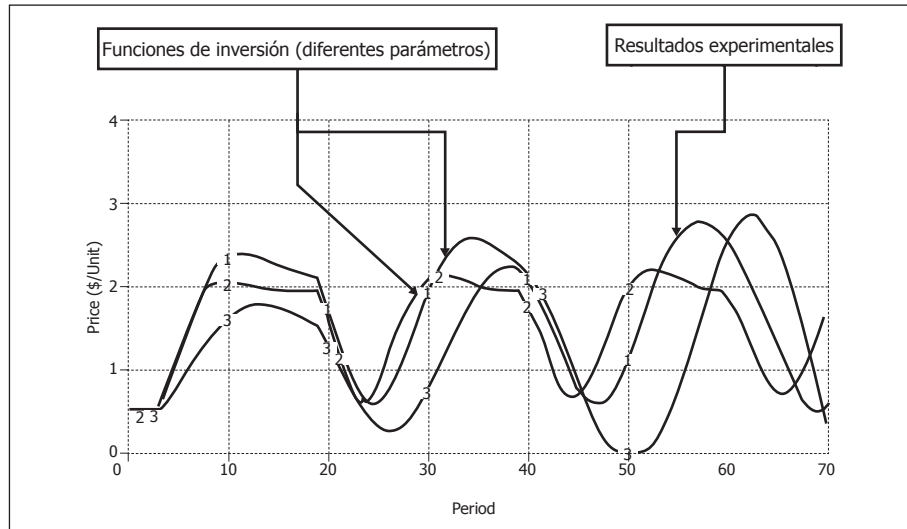


Figura 7. Simulaciones de la regla de inversión asumidas y de resultados experimentales (Arango y Moxnes, 2007). FUENTE: Elaboración propia.

2.9 CONCLUSIONES

En dinámica de sistemas estamos principalmente interesados en problemas de toma de decisiones en ambientes dinámicos, con retardos, ciclos de realimentación y no linealidades. Los experimentos para el estudio de este tipo de problemas se han enfocado desde el punto de vista de la economía, la psicología y desde la misma dinámica de sistemas. De acuerdo con nuestra experiencia, los experimentos en dinámica de sistemas han mostrado un gran potencial para apoyar el análisis y modelamiento de la toma de decisiones en ambientes dinámicos con ciclos de realimentación importantes.

Esta es una aplicación muy importante pues una gran cantidad de problemas posee estas características. Pese a esto, se ha observado que el tratamiento de sistemas complejos dinámicos es todavía poco entendido y es por eso que cada experimento muestra la necesidad de realizar más experimentos y de aplicarlos a otros problemas.

En este capítulo se mostró una guía acerca de los conceptos y elementos principales de los experimentos de laboratorio sobre toma

de decisiones en ambientes dinámicos, enfocados a su aplicación en dinámica de sistemas. Se presentó una reseña histórica, los elementos principales de un experimento de laboratorio, los principios teóricos de los laboratorios de experimentos (propósito, teoría del valor inducido y paralelismo), diseño y análisis de experimentos y algunos resultados desde el dominio de experimentos en ambientes dinámicos y complejos, desde el campo de la economía, la psicología y la dinámica de sistemas.

2.10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGGARWAL, R., and MOHANTY, S. (1995). "Are Survey Forecasts of Macroeconomic Variables Rational?" *Journal of Business* 68(1): 99-119.
- ARANGO, S. & MOXNES, E. 2007. Cyclical Behaviour in Electricity markets: An Experimental study. International System Dynamics Conference, July, MIT, Boston, USA.
- ARANGO, S. 2006. Essays on commodity cycles based on expanded Cobweb experiments of electricity markets. PhD dissertation, The University of Bergen. ISBN: 82-308-0290-4. Available online at: <https://bora.uib.no/handle/1956/2027>.
- ARANGO, S. 2006. Essays on commodity cycles based on expanded Cobweb experiments of electricity markets. PhD dissertation, The University of Bergen. ISBN: 82-308-0290-4. Available online at: <https://bora.uib.no/handle/1956/2027>.
- BUNN, D. W., & LARSEN, E. (1992). Sensitivity reserve margin to factors influencing investments behaviour in the electricity market of England and Wales. *Energy policy*, 29: 420-429.
- CASHIN, P., MCDERMOTT, C. J. et al. (2002). "Booms and slumps in world commodity prices." *Journal of Development Economics* 69(1): 277-296.
- CONLISK, J. (1996). "Why Bounded Rationality?" *Journal of Economic Literature* 34(2): 669-700.
- DIEHL, E. and STERMAN, J. 1995. Effects of Feedback Complexity on Dynamic Decision Making. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 62(2): 198-215.

- DWYER, G. P. JR., WILLIAMS, A. W. et al. (1993). "Tests of Rational Expectations in a Stark Setting." *The Economic Journal* 103(418): 586-601.
- FORD, A. (1999). *Cycles in Competitive Electricity Markets: A Simulation Study of the Western United States*. *Energy Policy*, 29: 637-58.
- FRIEDMAN, D. AND SUNDER, S. 1994. *Experimental Methods: A Primer for Economist*. Cambridge University Press.
- GRETHER, M., & PLOTT, C. 1984. The Effects of Market Practices in Oligopolistic Markets: An Experimental Examination of the Ethyl Case. *Economic Inquiry* 22:479-507
- HUCK, S., (2004). Oligopoly. In: *Economics Lab: An Intensive Course in Experimental Economics*. Eds. D. Friedman & A. Cassar, London/New York: Routledge, 248 p.
- KAMPMANN, C. and STERMAN, J. 1998. *Do Markets Mitigate Misperceptions of Feedback in Dynamic Tasks?* Cambridge, MA 02139, Sloan School of Management, MIT.
- LEVINE, D. I. (1993). "Do Corporate Executives Have Rational Expectations?" *Journal of Business* 66(2): 271-293.
- LOVELL, M. C. (1986). "Tests of the Rational Expectations Hypothesis." *The American Economic Review* 76(1): 110-124.
- LUCAS, R. E., and SARGENT, Thomas J. (1981). *Rational Expectations and Econometric Practice*. London, George Allen & Unwin LTD.
- MILLER, R. (2002). *Experimental Economics: How We Can Build Better Financial Markets*. Wiley, ISBN: 0471706256, 314 p.
- MOXNES, E. 1998. Not only the tragedy of the commons, misperceptions of bioeconomics. *Management Science* 44(9):1234-1248.
- MOXNES, E. 2004. Misperceptions of basic dynamics, the case of renewable resource management. *System Dynamics Review* 20 (2) 139-162.
- MOXNES, E. and SAYSEL, A. K. 2007. *Misperceptions of Global Climate Change: Information Policies*. *Climatic Change*, (forthcoming).
- MUTH, J. F. (1961). "Rational Expectations and the Theory of Price Movements." *Econometrica* 29(3): 315-335.

- NERLOVE, M. (1958). Adaptive Expectations and Cobweb Phenomena. The Quarterly Journal of Economics, 72(2): 227-240.
- PAICH, M. and STERMAN, J. 1993. Boom, Bust, and Failures to Learn in Experimental Markets. Management Science 39(12): 1439-1458.
- PLOTT, C. 1986. Rational Choice in Experimental Markets. Journal of Business 59: S301-S327.
- RASSENTI, SJ, SMITH, VL, & WILSON, BJ. 2002. Using experiments to inform the privatization/deregulation movement in electricity. Cato Journal Vol 21(3).
- RASSENTI, SJ, SMITH, VL, & WILSON, BJ. 2003. Controlling market power and price spikes in electricity networks: Demand side bidding. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS), vol 100(5).
- SIMON, H. A. (1979). "Rational decision making in business organizations." American Economic Review 69(4).
- SMITH, V. L. 1976. Experimental economics: Induced value theory. American Economic Review, 66(2), 274-279.
- SMITH, V.L. 1982. Microeconomic Systems as an Experimental Science. The American Economic Review, 72, 923-955.
- STERMAN, J. 1987. Testing Behavioral Simulation Models by Direct Experiment. Management Science, 33(12), 1572-1592.
- STERMAN, J. D. (2000). Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. Boston, Irwin/McGraw-Hill.
- STERMAN, J. D. 1989. Misperceptions of feedback in dynamic decision making. Organizational Behavior and Human Decision Processes 43(3) 301-335.
- Sterman, J., (1987a). Testing Behavioral Simulation Models by Direct Experiment. Management Science, 33(12), 1572-1592.
- STERMAN, J., (1989). Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment. Management Science, 35(3): 321-339.
- STOFT, S. (2002). Power System Economics, Designing Markets for Electricity. USA, Wiley Inter-Science.

TVERSKY, A. & KAHNEMAN, D. 1987. Rational choice and the framing of decisions. In: Hogarth, R.M. and Reder, M., Editors, 1987. Rational choice: The contrast between economics and psychology, University of Chicago Press, Chicago.

VOGSTAD, K., ARANGO, S., and SKJELBRED, H. 2005. Experimental Economics for Market Design. International System Dynamics Conference, Boston.

CAPÍTULO 3

PRUEBAS DE ESTRATEGIAS DE APRENDIZAJE PARA UN SISTEMA INTERACTIVO MULTIMEDIAL PARA LA REPÚBLICA DEMOCRÁTICA DEL CONGO (RDC) - AFRICA

*Diana Maria Montoya Quintero¹,
Gilmar Rolando Anaguano Jimenez²*

3.1 INTRODUCCIÓN

Debido a las dificultades y atropellos que se presentan con las poblaciones de la República Democrática del Congo (RDC), muchos profesionales de diferentes áreas del conocimiento y de diversos países se compadecen de esta situación, y prestan sus servicios en estas regiones por un voto de fe y caridad humana, haciéndose partícipes de las necesidades comunitarias que allí se viven. Entre las insuficiencias comunitarias en general, surge la privación de capacitación y aprendizaje que afecta las poblaciones en sus avances y procesos formativos, dadas por la falta de recursos económicos, académicos, y sociales, entre otros.

Pero no sólo la población africana se ve afectada por este hecho, sino también todos aquellos profesionales (como son misioneros, laicos y voluntarios) que prestan sus servicios en estas regiones por espacios largos de tiempo, quienes de alguna manera se ven obligados

-
- 1 Universidad de Medellín – Colombia, Docente Investigadora, Magíster en Ingeniería de Sistemas.
 - 2 Universidad de Medellín – Colombia, Docente Investigador, Magíster en Sistemas de Automatización.

a limitaciones en oportunidades de interactuar y actualizar compromisos académicos.

Los líderes internacionales que se encuentran en el momento dentro de la RDC, poseen un espíritu capaz de ofrecer un servicio humanitario para dicha población, liderando proyectos dentro de estas regiones con un impacto social relevante, de aquí nace entonces el proyecto en su desarrollo, “Diseño e implementación de un sistema de información interactivo retroalimentable” en convenio con los Misioneros de la Consolata (Roma, Italia) y la Universidad de Medellín-Colombia, donde se interactúa específicamente con el grupo de investigación ARKADIUS(Programa de Ingeniería de Sistemas).

3.2 ALCANCE DEL SISTEMA

Entre los objetivos del proyecto propuesto está el diseño, implementación y desarrollo de un Sistema Interactivo, que permita a los misioneros y líderes de grupos académicos extender sus conceptos en tecnologías de la información y la comunicación (TIC), radio comunitario, y periodismo (áreas de interés en el momento para la RDC), orientados al contacto con las regiones más alejadas de la República Democrática del Congo.

El sistema cumplirá con las siguientes características y funcionalidades:

Amplía nivel de audiencia: ya que la plataforma principal de usuario que este sistema utilizará es de tecnología Web. Esta plataforma se complementará con una implementación de plataforma Windows, para incluir en la audiencia a usuarios de sistemas desconectados.

Soporte de contenido y administración distribuida: el sistema incorpora al usuario del mismo, como fuente de contenido y soporte, siguiendo los conductos debidos, para lograr un manejo de contenido descentralizado y mucho mas dinámico, el cual, además, se presenta como alternativa al uso de recursos mas costosos, como el manejo de grupos de enfoque, investigación de sectores de usuarios y similares.

Exposición de funcionalidad, a través de servicios web en formato XML y PHP: exponiendo elementos clave de funcionalidad, a través de componentes de amplio nivel de acceso, el sistema presenta un alto potencial de expansión y escalabilidad, permitiendo a otras aplicaciones participar de manera activa y / o pasiva en el proceso de distribución de contenido. En la figura 1, se puede observar la estructura de la arquitectura global NTIC.

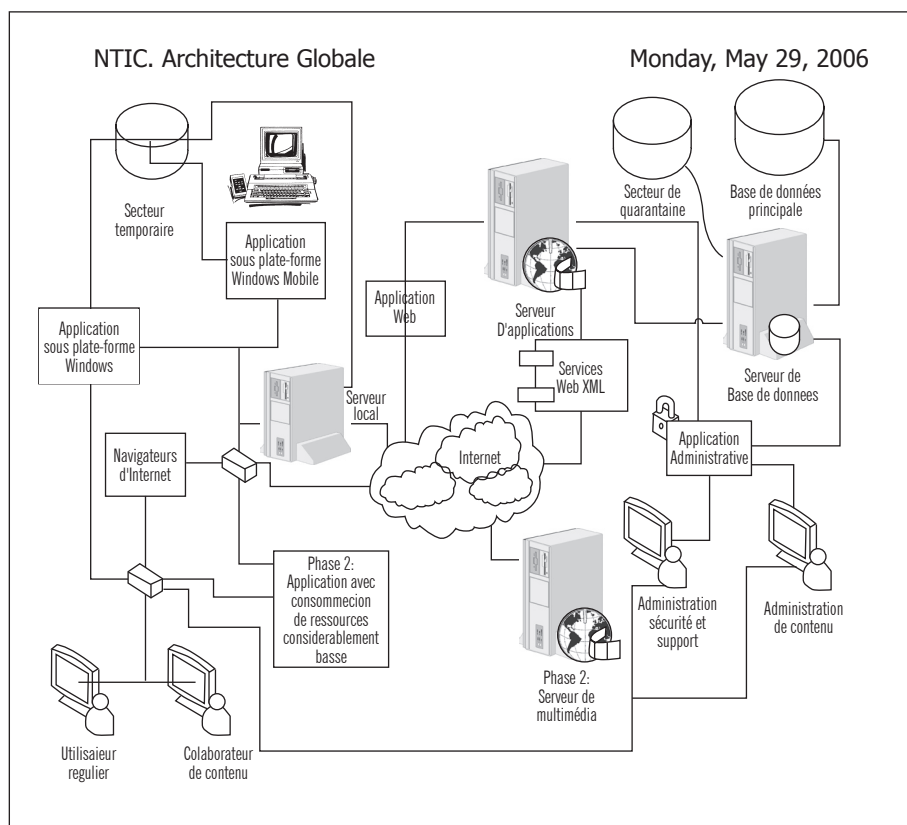


Figura 1. Arquitectura Global NTIC. FUENTE: Elaboración propia.

Almacenamiento de la información. La información tendrá un área principal de almacenamiento, servida, regulada y protegida por un servidor de bases de datos de alto rendimiento y seguridad. Se contará, además, con elementos temporales de alma-

cenamiento, para el manejo de la información en fases iniciales o de usuario final.

Base de datos principal. Guardará el contenido principal del sistema de información. Solo esta base de datos será utilizada para consultas y presentación final de contenido.

Área de cuarentena. Utilizada para guardar información que debe ser revisada por administradores de contenido, antes de ser incorporada al sistema principal de datos. Normalmente, la información contenida en este repositorio es suministrada por los auxiliares de contenido. Una vez que la información sea aprobada, pasará a la base de datos principal. En caso de no ser aprobada, un registro de tarea será devuelto al auxiliar que generó la información inicialmente. La información será reprocesada hasta ser aceptada o finalmente descartada.

Área temporal. Utilizada para almacenar contenido al cual se podrá acceder de forma desconectada, y no en tiempo real. La información será extraída de la base de datos principal, para ser almacenada en esta área. Entre los objetivos que se buscan con esta modalidad de acceso se encuentra el poder trabajar luego con unidades móviles (Notebooks, PDAs, Tablets, etc.) sin necesidad de estar conectado a una fuente de Internet (muy útil para personas que viajan frecuentemente) y el poder optimizar el uso de conexiones de baja velocidad y / o intermitentes. El área temporal de almacenamiento también puede ser utilizada por servidores locales, los cuales optimizan el consumo del canal de comunicación.

Servidores de red. Un servidor en informática o computación es una aplicación informática o programa que realiza algunas tareas en beneficio de otras aplicaciones llamadas clientes. Algunos servicios habituales son los servicios de archivos, que permiten a los usuarios almacenar y acceder a los archivos de una computadora y los servicios de aplicaciones, que realizan tareas en beneficio directo del usuario final.

Servidor de base de datos. Su rol primario es permitir un acceso controlado a la base de datos principal. Proporciona un nivel alto de seguridad para los datos, y optimiza el tiempo de lectura y actuali-

zación de la información, mediante la utilización de planes de ejecución mejorados.

Servidor de aplicaciones. Utilizado para hospedar la aplicación Web que será el medio principal para la distribución de contenido del sistema. Contendrá, además, un conjunto de servicios Web XML, los cuales serán utilizados por diversas aplicaciones, con el fin de brindar alternativas eficientes de distribución.

Servidor Local. La ubicación de un servidor local es opcional, y no hace parte de la infraestructura principal del sistema. Debido a sus costos iniciales, no es asequible como solución primaria, pero significa una gran ventaja en aquellos lugares donde pueda ser instalado. El objetivo de este servidor es proporcionar un punto central, local, de comunicación, con el fin de reducir de manera dramática el consumo de los canales de comunicación, utilizados para obtener la información del sistema principal. La información que se considere necesaria, y sea autorizada, será replicada desde el sistema principal hacia el servidor local, lo cual permitirá un posterior acceso en un nivel de red local, obviando la necesidad de conexiones remotas y los problemas de ancho de banda inherentes.

Además de la arquitectura que se presenta en la figura 1, también se tiene el desarrollo del diseño de la Base de Datos (BD), que corresponde al sistema de gestión de la base de datos DBMS, la cual consiste en una colección de datos interrelacionados y un conjunto de programas para acceder a ellos. La colección de datos se denomina base de datos BD. El objetivo primordial de un DBMS es proporcionar que, a su vez, sea conveniente y eficiente para ser utilizado al extraer o almacenar información en la BD.

3.3 ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL SISTEMA

Dentro del desarrollo del Sistema se ha contemplado en su proceso de calidad cumplir con los estándares propuesto por SCORM¹ (Shareable Content Object Referente Model), encargado de generar

¹ <http://www.adlnet.org/scorm/index.aspx>

un conjunto de especificaciones para desarrollo, empaquetamiento y distribución de material educativo. Algunos autores consideran que SCORM es un modelo de referencia para el desarrollo y creación de objetos de aprendizaje reutilizables (Shareable Content Object Reference Management¹); de igual forma, en la literatura se ha demostrado su utilidad como componente para el desarrollo de distintas plataformas, sistemas distribuidos y cursos virtuales.

SCORM va dirigido a fabricantes y a creadores de herramientas de desarrollo, no es conducente para desarrolladores de contenido. Entre los objetivos propuestos de SCORM, se encuentran una búsqueda por sensibilizar al desarrollador en cómo añadir el contenido, unir y hacer funcionar un sistema de aprendizaje, realizar el entorno de ejecución y el cómo ejecutar el contenido y generar la trazabilidad del alumno.

La pertinencia en la utilización de los estándares de Scorm en el Sistema interactivo se fundamenta dentro del proyecto propuesto en el desarrollo de contenidos que puedan generar seguimiento del alumno con base en sus avances y evaluaciones; además, se tiene presente en su desarrollo implementar un Sistema Administrativo de aprendizaje (LMS) para entregar y gestionar sus contenidos, diseñándolos y reutilizándolos en otros entornos.

Se pretende, a la vez, que el Sistema pueda generar un nuevo entorno y estandarizar las secuencias de aprendizaje de los alumnos organizados por contenidos, evaluaciones, actividades, prácticas y seguimiento.

3.4 CURSOS VIRTUALES DE APRENDIZAJE APOYADO POR LA TEORIA DE BLENDED LEARNING

El Blended Learning como lo comparte el autor (COATEN, 2003)² tiene como fin ofrecer un modo de aprender que combine la enseñanza presencial con la tecnología o el mundo virtual. La tendencia de la información es estar en la red, lo que implica la necesidad de

1 <http://xml.coverpages.org/scorm.html>

2 <http://www.sav.us.es/pixelbit/articulos/n23/n23art/art2301.htm>

desarrollar competencias relacionadas con el tratamiento de la información, el pensamiento crítico, el trabajo en grupo, la resolución de problemas, etc. (Ellis et al. 2006).

Las características que presenta la teoría de Blended Learning conllevan a fomentar habilidades en los estudiantes, tales como: reconocimiento de la responsabilidad personal e individual, participación y coordinación de trabajos en grupos, comunicación efectiva, habilidades sociales de comunicación mediadas de tecnologías, indagación mediante preguntas que lleven a una comprensión o un análisis más profundo, presentación y defensa de una idea, refutación de ideas opuestas y debatir ataques a las propias; sintetizar e integrar ideas, delegar responsabilidades y ejecutar tareas coordinadas, entre otras.

También este tipo de planteamientos ha desarrollado acciones que llevan a resultados indicando que los procesos de aprendizaje desarrollados están siendo positivos en cuanto a un aprendizaje significativo para los alumnos, ya que toma forma en cada proyecto desarrollado y lleva implícita una aplicabilidad real, en el mundo empresarial actual, de los conocimientos que se adquieren mediante la práctica. Se refuerza el aprendizaje con las sesiones de mentoring y atención personalizada a cada proyecto y a cada participante.

Se desarrollan estrategias de autoaprendizaje y autogestión del propio conocimiento. Cada equipo avanza según sus posibilidades y las exigencias de su profesor, su “entrenador”, su orientador, su tutor o guía.

Se multiplica el interés y la motivación por el propio aprendizaje. Implica una toma de conciencia del propio proceso y, de alguna manera, obliga al alumno a ser pro-activo en su propio desarrollo profesional a lo largo de los estudios.

Se integran estrategias, modelos, procesos, herramientas en el aula presencial y el aula virtual, que varían en función de cada necesidad. Se promueve la posibilidad de trabajo globalizador, con una fuerte interrelación entre diferentes áreas de la carrera o del estudio.

El uso de diferentes medios y técnicas de trabajo, el conocimiento de diferentes áreas como el vídeo, la imagen, la narrativa, el

poder de la información, el desarrollo e integración de los medios implican que en las asignaturas de desarrollo de proyectos el alumno debe tener un amplio marco de conocimiento y deba saber aprovechar de cada área aquello que necesite en cada momento para el desarrollo de los propios proyectos. Se crea la posibilidad de realizar un seguimiento del proceso de enseñanza y aprendizaje, con claros objetivos de optimización y mejora cualitativa del mismo. El feedback entre el alumno y el profesor es constante, no solo en los procesos comunicativos sino también en los resultados que se obtienen.

Se potencia, de forma continuada, la implicación y la participación de los alumnos en los programas, partiendo de la idea de que las valoraciones de los alumnos son importantes para asegurar la calidad educativa de los programas, y que las formas de comunicación especialmente mediante el campus virtual propician cambios y mejoras continuados en los estudios.

3.5 APLICACIÓN DE BLENDED LEARNING EN EL AULA

La aceptación de la anterior teoría por los investigadores está basada en los principios de las decepciones causadas por e-learning, como lo atestiguan algunas estadísticas de Proveedores de e-Learning (Apel)¹, de donde se puede deducir que el proceso online está siendo abandonado como lo afirma Pascual, 2003², y reafirmada por Collage Borrada; posiblemente se puede corroborar que socialmente en la cultura educativa aún falta transformar el rol de profesor tradicional por una figura de facilitador, encargado de orientar las habilidades y destrezas que deben desarrollar más activamente los estudiantes, quienes son fuentes originales y receptoras de conocimiento.

En el desarrollo del sistema se hicieron pruebas estratégicas para implementar en el sistema la metodología de enseñanza blended learning, por tal motivo dentro de uno de los cursos de Ingeniería de la información adscrito al programa de ingeniería de sistemas de la

1 http://www.apel.es/portal/mostrar_documento.asp?id_agenda_portal=181

2 <http://www.educaweb.com/esp/servicios/monografico/formacionvirtual/1181108.asp>

Universidad de Medellín, se hizo un trabajo con 45 estudiantes, los cuales tuvieron 5 sesiones virtuales en la plataforma moodle y las demás sesiones fueron presenciales. Finalizado el curso se hizo una encuesta para valorar el grado de satisfacción y conocimiento que tenían los estudiantes en esta práctica; valorando variables categóricas dentro del proceso de prueba, en la teoría sujeta a Blended Learning, entre estas están:

- Trabajo de grupo con tareas asignadas a cada uno de los integrantes
- Caso de estudio para analizar y resolver con los conceptos dados
- Planteamiento de un problema para resolverlo en varias etapas
- Inducción de conceptos a través de link de Instituciones y centros de investigaciones concernientes al área

Ejemplos de ejercicios propios del área para luego ser sustentados en clase presencial.

Las herramientas de comunicación utilizadas en el proceso fueron:

- Correo electrónico
- Chat
- Foro
- Plataforma virtual (Moodle)
- Clase magistral

3.6 ¿POR QUÉ USAR BLENDED LEARNING?

Porque permite apoyar el proceso formativo en los aprendizajes virtuales, que de alguna manera desubican al estudiante con la saturación de información que presenta la web o el e-learning, reubicando al estudiante nuevamente en un entorno que contiene una columna

vertebral que orienta, guía y formaliza el proceso del estudiante desde lo virtual y lo presencial.

Blended Learning genera “escenarios múltiples” no limitados a ninguna instancia (presencial o virtual), sino que permite la combinación de las mismas, desde sus actividades, de forma sincrónica y de e-learning (aprendizaje electrónico) como una modalidad integrada de aprendizaje, complementando la formación presencial con la formación a través de las TIC.

Pedagógicamente hablando, se puede decir que se trata de diseñar un curso armonizando sesiones presenciales y fases a distancia, donde se suplen las carencias que puede generar la una o la otra.

3.7 RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los estudiantes en su encuesta pudieron reflexionar sobre el ejercicio las ventajas y desventajas observadas en el proceso:

Ventajas

- Flexibilidad en el desarrollo de las actividades propuestas y a realizar
- No es necesario desplazarse hasta la universidad
- Hay mayor tiempo para leerlas y desarrollar las actividades propuestas
- Contacto continuo con el docente, en el lugar que se quiera que esté
- Mayor facilidad con respecto al tiempo
- Nueva forma de aprender
- Son metodologías entretenidas
- Se resumen las clases presenciales, haciendo que avance mucho más
- Se puede guardar el contenido de las clases de forma magnética

Desventajas

- La respuesta a las preguntas planteadas en la plataforma no es clara en algunas situaciones, y queda faltando la asesoría del profesor presencial
- Las explicaciones son en algunas ocasiones difíciles de entender cuando es virtual, y ya en clase presencial es incómodo preguntar
- Obligatoriamente tienes que tener computador y acceso a Internet
- Deficiencias en la plataforma para la comunicación
- Saturación de la información
- Hay que estudiar más por cuenta propia

Como resultado final, la encuesta arrojó un porcentaje de satisfacción y de evaluación en términos positivos en sus notas finales.

El 90% de los estudiantes les gusta que sus profesores dicten algunas temáticas sobre la plataforma Moodle.

En la figura 2, se pueden observar los análisis estadísticos que se hicieron en un taller de preconceptos sobre la relevancia que se presentó durante el proceso de prueba con la teoría Blended Learning.

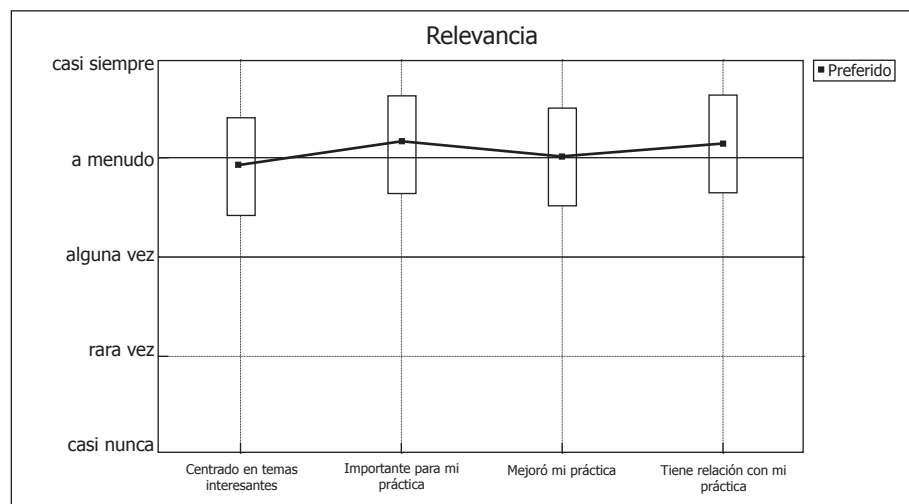


Figura 2. Taller preconceptos. FUENTE: Elaboración propia.

3.8 EL MODELO CONSTRUCTIVISTA EN LA EDUCACIÓN APOYADO POR LOS MAPAS CONCEPTUALES

Desde hace mucho tiempo, la psicología cognitiva y otras ciencias se han preocupado por entender los procesos de aprendizaje, tarea aparentemente fácil, pero que ha desencadenado una serie de reflexiones complejas. Para Ausubel, por ejemplo, el aprendizaje se lleva a cabo mediante la asimilación de nuevos conceptos y proposiciones dentro de conceptos ya existentes y estructuras proposicionales propias del aprendiz [Ausubel *et al* 1963, 1968, 1978]

Los conceptos son generalizaciones extraídas de observaciones sistemáticas y describen la regularidad o relación de un grupo de hechos. El origen y la naturaleza de los conceptos han preocupado a los filósofos desde la antigüedad, y siguen preocupando a educadores y psicólogos. Así, para Platón los conceptos existen realmente en un mundo inteligible, superior al mundo que muestra los sentidos; mientras que para Aristóteles los conceptos se forman en el espíritu a partir de la observación de las cosas. Por su parte, Kant, en una especie de pensamiento-síntesis de las ideas de los dos grandes pensadores griegos, distingue entre “conceptos *a priori*”, obtenidos del espíritu mismo y “conceptos *a posteriori*”, obtenidos de la experiencia. Pavlov, desde una postura materialista, considera al concepto como el producto más elevado del cerebro humano, y cree que se forma como respuesta a un conjunto de estímulos [Rubio G, 2000]

Nuestros primeros conceptos los adquirimos desde que nacemos hasta los primeros tres años de vida; esta fase inicial se denomina proceso de *aprendizaje por descubrimiento*, porque empezamos a reconocer objetos en nuestro entorno y empezamos a etiquetarlos con alguna expresión idiomática; esta es una habilidad que forma parte de nuestra herencia y evolución. Después de los tres años, los nuevos conceptos y las proposiciones son mediados fuertemente por el lenguaje, y se lleva a cabo inicialmente un proceso de *aprendizaje por recepción*; aquí es donde empezamos a formularnos preguntas y a clarificar relaciones entre los viejos y los nuevos conceptos y proposiciones [Macnamara, 1982].

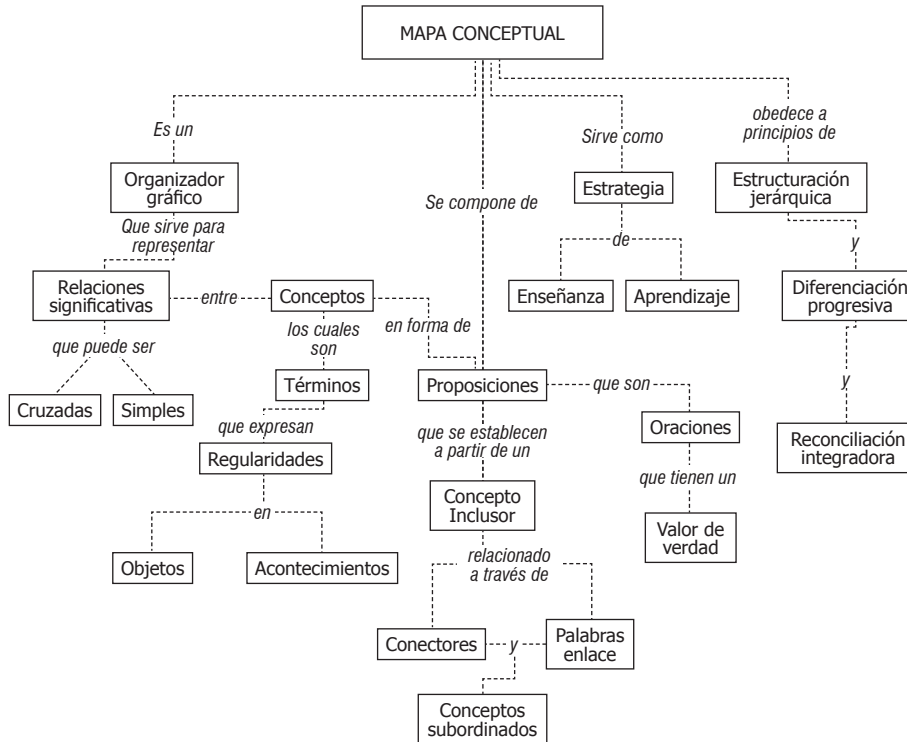


Figura 3. Mapa conceptual.
FUENTE: Universidad del Táchira – Venezuela.

Los conceptos son los elementos esenciales con los que operamos mentalmente; cuando no logramos entenderlos y organizarlos en nuestro cerebro, el pensamiento no actúa, permanece bloqueado. Por ello, cuanto mayor es el número de conceptos que posee una persona y cuanto mejor relacionados estén entre sí en su estructura mental, más capacidad tendrá para resolver problemas y para generar nuevos conceptos [Suero *et al*, 1989].

El mapa conceptual es una representación gráfica de un conjunto de conceptos y sus relaciones sobre un dominio específico de conocimiento, construida de tal forma que las interrelaciones entre los conceptos son evidentes. En este esquema, los conceptos se representan como nodos rotulados, y las relaciones entre conceptos como arcos

rotulados conectándolos. De esta forma, los mapas conceptuales representan las relaciones significativas entre conceptos en forma de proposiciones o frases simplificadas: dos o más conceptos ligados por palabras para formar una unidad semántica.

Los mapas conceptuales se usan como un medio para la descripción y comunicación de conceptos dentro de la teoría de asimilación, una teoría del aprendizaje que ha tenido una enorme influencia en la educación. La teoría está basada en un modelo constructivista de los procesos cognitivos humanos.

El mapa conceptual es la principal herramienta metodológica de la teoría de asimilación para determinar lo que el estudiante ya sabe. De acuerdo con Novak y Gowin, los mapas conceptuales han ayudado a personas de todas las edades a examinar los más variados campos de conocimiento en ambientes educativos [Novak *et al* 1984, 1991]

3.9 ¿PORQUÉ USAR LOS MAPAS CONCEPTUALES?

En la búsqueda de soluciones a los innumerables problemas que presentan los alumnos para el aprendizaje, se ha detectado que los estudiantes tienen poco interés por las asignaturas, como también un manejo muy poco adecuado de habilidades necesarias para el pensamiento científico [Ramírez de M., 1995]. Uno de los problemas más importantes se evidencia en las dificultades que tienen los alumnos para captar de manera global la información que reciben y para poder construir un esquema organizador del tema en estudio, que les permita ubicar en algún tipo de estructura organizada los diversos conceptos. Les resulta también difícil poder establecer alguna relación entre los conceptos, y tienen un manejo pobre de técnicas de representación, información y resumen.

El enfoque constructivista enfatiza la construcción de nuevo conocimiento y maneras de pensar mediante la exploración y la manipulación activa de objetos e ideas, tanto abstractas como concretas. Recientes investigaciones en educación recomiendan el enfoque co-

laborativo, mediante el cual los estudiantes trabajan en proyectos en grupo colaborando en la solución de problemas. Sin embargo, los ambientes de educación tradicionales usualmente no están organizados para este tipo de actividades, y las herramientas de computación disponibles para apoyar la educación no ayudan al maestro a crear este ambiente constructivista de aprendizaje, y mucho menos un aprendizaje colaborativo¹.

Desde el punto de vista pedagógico, la construcción de proyectos por parte de los estudiantes usando esta herramienta ataca un problema común provocado por el fácil acceso a Internet: son tantos los recursos disponibles sobre cualquier tema, que para el estudiante es sumamente sencillo copiar y pegar imágenes, texto, etc. en su propio documento, sin verdaderamente haberle dedicado tiempo a comprender el tema. Sin embargo, si el estudiante debe organizar los recursos mediante mapas conceptuales, es sumamente difícil que construya un mapa correcto si no tiene un buen dominio del tema. [Cañas, 1998]

Existen otras razones por las cuales nuestros estudiantes no asimilan los conceptos clave, propios de cada asignatura, entre ellas podemos enumerar algunas, que han sido corroboradas por otras investigaciones:

El profesor no tiene en cuenta cuál es la estructura cognitiva del alumno [Novak, 1982]

El docente ofrece al estudiante un esquema de trabajo en el que aparecen nuevas informaciones, ajenas a su propio esquema conceptual [Driver, 1988]

En ocasiones las actividades propuestas, se encuentran lejos del ámbito social y cultural del alumno [Novak, 1982]

Teniendo en cuenta lo anterior, se empezó a utilizar la metodología de los mapas conceptuales, con un grupo de estudiantes de la asignatura de Control Moderno, impartida en VII semestre del programa en Ingeniería de Sistemas, curso que se imparte en forma virtual, utilizando la plataforma MOODLE.

¹ Revista De Informática Educativa, Vol. 13, No. 2, 2000, pp. 145-158. <http://lidie.uniandes.edu.co/revista>

El objetivo fue caracterizar el aprendizaje en entornos virtuales como un proceso de construcción, donde lo que el alumno aprende no es simplemente una copia o reproducción de lo que en ese entorno se le presenta como contenido a aprender, sino una reelaboración de ese contenido, mediada por la estructura cognitiva del aprendiz, haciendo énfasis en tres conceptos: “Actividad conjunta”, “ayuda pedagógica” y “construcción del conocimiento” [Onrubia, 2006].

3.10 APLICACIÓN DE LOS MAPAS CONCEPTUALES EN EL AULA

Con este trabajo queremos demostrar que la asignatura de control moderno, la cual contiene una temática científica bastante amplia e interdisciplinaria, puede asimilarse mejor con la introducción de una metodología sustentada en el empleo de mapas conceptuales.

El ejercicio partió de la hipótesis experimental siguiente: el curso de control moderno concebido a partir del uso de los mapas conceptuales es idóneo para la dirección del aprendizaje de los conceptos que deben ser asimilados por los estudiantes del programa en Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Medellín.

Los métodos utilizados para la aplicación se concibieron desde los niveles teórico y empírico. Desde la parte teórica se cumplieron dos etapas: el diseño instruccional de la estrategia y la etapa de implementación. Desde la parte empírica se cumplieron dos fases: la fase de observación y la fase de análisis según el criterio del docente.

Todo lo anterior se realizó para tratar de asegurar el cubrimiento de todas las facetas del aprendizaje [Lebrun, 2004] las cuales son:

Información: se facilitó al estudiante tanto el conocimiento de los fundamentos básicos de la elaboración de mapas conceptuales, como la apropiación de la herramienta *CMapTools V 4-09*, elaborada por el IHMC (Institute of Human and Machina Cognition)¹

Motivación: se hizo énfasis en la necesidad del uso de los mapas conceptuales.

¹ <http://www.ihmc.us/>

Selección de actividades: se enfatizó en la aplicación del análisis, la síntesis, la evaluación y el sentido crítico a través de actividades como pasar de la teoría a un mapa que resuma lo planteado, o bien cómo, a partir de un mapa, es posible construir todos los conceptos relacionados con el tema, de igual manera mostrando cómo un mapa conceptual puede ser de gran utilidad en la resolución de problemas.

Interacción y colaboración: se posibilitó la socialización de los resultados parciales de la construcción de conocimiento utilizando mapas conceptuales y el mejoramiento de los mismos, utilizando como espacio de discusión el foro de la plataforma Moodle.

Producción: como resultado del trabajo de todo el semestre, cada grupo de tres estudiantes produjo un mapa conceptual de los diferentes capítulos estudiados. En la figura 4, se puede apreciar un ejemplo realizado por una estudiante del curso¹, el cual evidencia la adecuada captación de conceptos.

3.11 ACTIVIDADES REALIZADAS

La asignatura de Control Moderno se impartió para dos grupos de 20 estudiantes cada uno. El primer grupo 100% presencial con predominio de la clase magistral, y el otro, 90% virtual, con solo una sesión presencial al mes. (4 sesiones en todo el período de estudio). El grupo virtual trabajó por primera vez, utilizando la herramienta heurística de los mapas conceptuales, mientras el grupo presencial no lo hizo de esta manera.

Las actividades que se realizaron con el grupo virtual fueron las siguientes:

Inducción: para poder incorporar los mapas conceptuales a la metodología general de trabajo, se procuró inicialmente hacer entender a los estudiantes las ventajas de trabajar con mapas conceptuales y el dominio de la herramienta. Para la segunda parte se contó con el apoyo de 29 vídeos tutoriales realizados por los integrantes del

¹ Mapa conceptual realizado por Larissa N. Chaverra – Estudiante de Ingeniería de Sistemas.

grupo de investigación ORION, de la Universidad de Extremadura en España¹; mientras que para la conceptualización básica se utilizó toda la ayuda disponible que ofrece el IHMC (*Institute for Human and Machine Cognition*)².

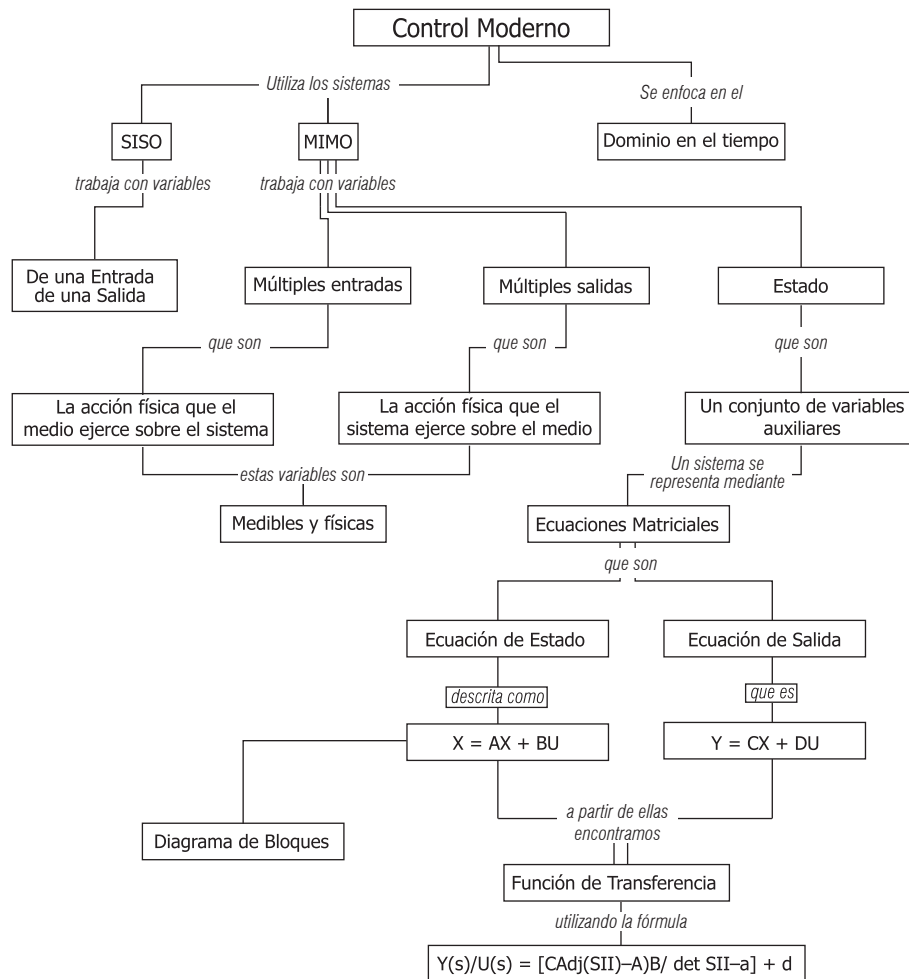


Figura 4. Mapa conceptual de Control Moderno. FUENTE: Curso 2007-1

1 <http://grupoorion.unex.es/cmptools/cmptools.htm>

2 <http://cmap.ihmc.us/>

Estrategias específicas: mediante la utilización del foro en la plataforma moodle se generó discusión sobre lo que es concepto, proposición y sus elementos.

Se intercambiaron y analizaron distintos ejemplos de mapas conceptuales sobre diferentes temas, que los estudiantes encontraron en la Web.

Durante una sesión presencial se construyó en forma individual un mapa conceptual sencillo, haciendo énfasis en la correcta utilización de concepto, proposición, palabras de enlace y jerarquía.

Se juntaron en parejas intentando leer el mapa del otro.

Se hicieron los arreglos necesarios a los conceptos y las palabras de enlace o conectores.

Se discutieron los mapas, sus elementos y sus características y se integró en el foro de discusión un ejercicio que consistía en proponer un mapa conceptual de un tema cualquiera de la asignatura Control Moderno.

Antes de terminar la sesión se mostró el mapa que propuso el docente, para el ejercicio inicial que se realizó, el cual lógicamente fue realizado y corregido con mucha anticipación.

Se planteó la realización de un artículo por cada capítulo de la asignatura, realizado por un grupo de tres estudiantes, el cual debe ser escrito, pero, además, expuesto a sus compañeros de todo el grupo mediante un mapa conceptual.

Se insistió en que los mapas conceptuales pueden ser utilizados como organizadores previos para presentar y desarrollar un tema, para hacer la síntesis de una aplicación, para integrar conceptos vistos y que lógicamente pueden construirse a partir de un texto escrito.

3.12 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Las evaluaciones cualitativas realizadas a partir del análisis de los mapas conceptuales realizados por los estudiantes, las observaciones realizadas por el docente, y las opiniones de los alumnos permiten afirmar que la estrategia ha sido adecuada y se presenta como un ele-

mento promisorio para contribuir al fortalecimiento del aprendizaje significativo.

El mapa conceptual es una herramienta que cada estudiante usa de diferentes maneras; por tanto, resulta imposible establecer diferencias significativas entre los puntajes obtenidos por estudiantes que han aprendido a usarlos; sin embargo, es opinión mayoritaria de los estudiantes que la incorporación de los mapas conceptuales les facilita la comprensión global de una temática, permitiendo entender relaciones entre diferentes conceptos. La figura 5 muestra los porcentajes de estudiantes que aprobaron la asignatura, con sus respectivas calificaciones. Es posible que el grupo virtual haya contado con estudiantes más dedicados al estudio, pero se podría afirmar que los mapas conceptuales les ayudaron a comprender mejor la asignatura.

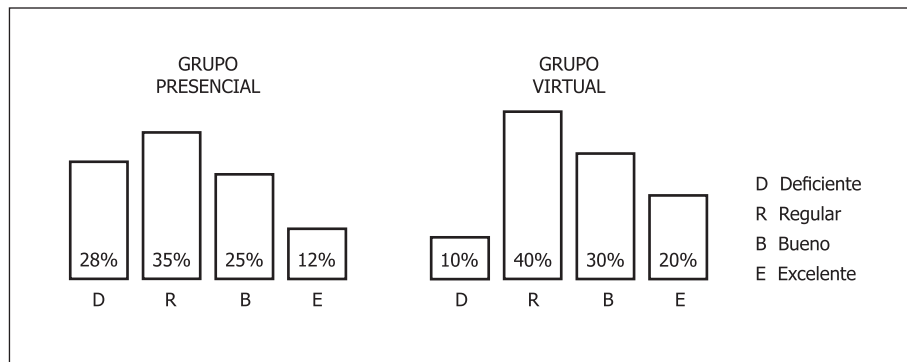


Figura 5. Porcentajes de las calificaciones finales de la Asignatura.

FUENTE: Elaboración propia.

La mayoría de estudiantes manifiestan su agrado por la claridad con que los mapas conceptuales pueden resumir la información. Además, los usan como formularios para la solución de problemas.

Los estudiantes se sienten parte más activa en el proceso de formación del conocimiento. En la medida que los estudiantes puedan usar mapas conceptuales propios o de expertos sienten mayor apoyo y participación para analizarlos, cuestionarlos o mejorarlos.

La herramienta *CmapTools* permite la realización de mapas conceptuales dinámicos, y el acceso de la información a través de la red.

La prueba presentada es la primera que se aplica en el programa de Ingeniería de Sistemas, a los contenidos de toda una asignatura.

Resumiendo, se evaluaron desde un enfoque cualitativo los significados y el sentido que provocaron en los estudiantes los mapas conceptuales lo que permitió la interpretación subjetiva de los resultados obtenidos al recoger la información. Se evidencia que los mapas conceptuales resultaron de interés para estudiantes universitarios, quienes consideraron el proceso como una estrategia didáctica para el aprendizaje de los contenidos de las asignaturas, evidenciaron además su comodidad para el trabajo en equipo, le resultaron novedosos y la aprobación para continuarse aplicando en las demás asignaturas.

3.13 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRENNAN, M. (2004). Blended Learning and Business Change. Chief Learning Officer Magazine. Enero 2004. <http://www.clomedia.com/content/anm-viewer.asp?a=349>
- BRODSKY, M. W. (2003). Four Blended Learning Blunders and How to Avoid Them. Learning Circuits, Noviembre 2003. <http://www.astd.org/ASTD/Publications/LearningCircuits/2003/nov2003/elearn.html>
- BARTOLOME, A. (2001). Universidades en la Red. ¿Universidad presencial o virtual? En Crítica, LII (num. 896) pp. 34-38. <http://www.lmi.ub.es/personal/bartolome/articuloshtml/bartolomeSPcritica02.pdf>
- COATEN, NEIL(2003). Blended e-learning. Educaweb, 69.6 de octubre de 2003. <http://www.educaweb.com/esp/servicios/monografico/formacinvirtual/1181076.asp>
- COLLEGE BOARD.(2001). Trens in Collage Princing 2001. Washington, D.C.
- PASCUAL, MA PAU (2003). El blended learning reduce el ahorro de la formación on-line pero gana en calidad. Educaweb,69.6 DE OCTUBRE DE 2003

- AUSUBEL, D. P. (1963). *The psychology of meaningful verbal learning*. New York: Grune and Stratton.
- AUSUBEL, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. D., & HANESIAN, H. (1978). *Educational psychology: A cognitive view (2nd Ed.)*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- MACNAMARA, J. (1982). *Names for things: A study of human learning*. Cambridge, MA: M.I.T. Press.
- NOVAK, J.D. (1982). *Teoría y práctica de la educación*. Madrid: Ed. Alianza.
- DRIVER, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del Currículum en Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 109-120.
- SUERO, M.I.; CALVO, J.L.; (1989). Elaboración de Mapas Conceptuales en Física. *Actas IV Jornadas de C.O.U. Instituto de Ciencias de la Educación. Universidad de Extremadura*.
- NOVAK, J. D. & D. B. GOWIN. (1984). *Learning How to Learn*. New York: Cambridge University Press.
- FORD, K. M., A. J. Cañas, J. Jones, H. Stahl, J. Novak & J. Adams-Webber. (1991). ICONKAT: An Integrated Constructivist Knowledge Acquisition Tool, *Knowledge Acquisition Journal*, 3, pp. 215-236.
- RAMIREZ, M. S. (1995). *Una Estrategia Constructivista para el Desarrollo de Habilidades de Pensamiento Científico*. Trabajo de ascenso no publicado. Universidad Nacional del Táchira UNET. San Cristóbal – Venezuela.
- CANAS, A. J. (1998) *Algunas Ideas sobre la Educación y las Herramientas Computacionales Necesarias para Apoyar su Implementación*, Memoria del IX Congreso Internacional sobre Tecnología y Educación a Distancia, San José, Costa Rica. Reimpreso en *Red: Educación y Formación Profesional a Distancia*, Ministerio de Educación, España (1999).
- RUBIO G, Silvina. (2000) *Proyecto de enseñanza de la física desde una perspectiva Constructivista – Mapas Conceptuales*. Grupo de Investigación “Orión” Universidad de Extremadura – España.
- LEBRUN Marcel (2004). *Claroline et le iCampus de l’ UCL: fondaments, outils, dispositifs*. Institut de pedagogie Universite Cathilique de Louvain-la-Neuve - Belgique.
- ONRUBIA Javier (2006) *Learning and teaching in virtual environments*. Universidad de Barcelona – España.

CAPÍTULO 4

PREFILTRAJE DE VARIABLES EN FILTRO KALMAN PARA LA ESTIMACIÓN DE ESTADOS DE NAVEGACIÓN

Carlos Alberto Ramirez Behaine¹,

Jairo Miguel Vergara Díaz²

4.1 INTRODUCCIÓN

Desde el comienzo de la civilización, se ha tenido la necesidad de controlar procesos que nos afectan en alguna medida. Hasta décadas recientes, el control era realizado sobre mediciones directas de las variables involucradas. A finales de la década de los años cincuenta, el Dr. Rudolf Emil Kalman se cuestionó sobre la idea del porqué no aplicar la noción de variables de estado en el problema de filtrado de Wiener. Años más tarde, se logró hacer una aplicación que respondía a las conjeturas de Kalman; a tal aplicación característica se llamó filtrado de Kalman. Un rasgo propio de este tipo de análisis es el descrito en términos de conceptos de espacio-estado. Esto permite que a través de unas medidas y un modelo se puedan inferir y, por lo tanto, controlar variables de forma indirecta, algo nuevo en lo que respecta al control convencional. Es posible visualizar los fundamentos que soportan tales análisis en los bloques de la figura 1.

¹ MSc. E.E. Universidade de São Paulo. Profesor tiempo completo, programa de Ingeniería de Telecomunicaciones, Universidad de Medellín

² Ingeniero en Instrumentación y Control, Especialista en Teleinformática, Magíster en Ingeniería Informática, Profesor de tiempo completo, programa de Ingeniería de Sistemas, Universidad de Medellín

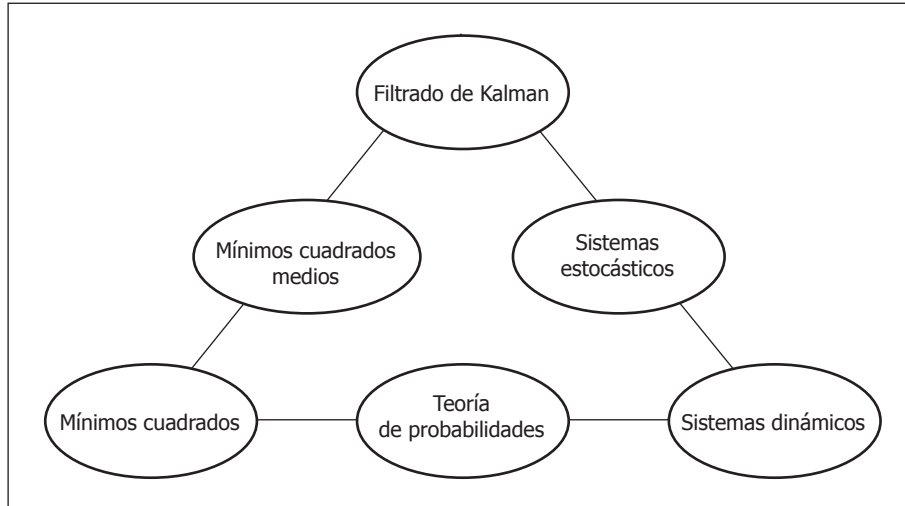


Figura 1. Fundamentos para el filtrado de Kalman. FUENTE: Elaboración propia

Entre otras características, es posible mencionar que solo requiere el almacenamiento de un estado previo, y se puede calcular recursivamente, lo que lo hace ideal para la implementación digital. El filtrado de Kalman ha sido aplicado satisfactoriamente en muchas aplicaciones prácticas, en especial en aplicaciones aeronáuticas y espaciales (MYUNGSOO, J.(1999)).

Actualmente, el uso de UAV (Vehículos aéreos autónomos) no tripulados ha aumentado considerablemente (METTLER, B. TISCHLER M. B. KANADE T.(2002)). Este artículo trata sobre la propuesta de usar un prefiltraje dentro de un filtro de Kalman extendido (EKF) que fue implementado en Matlab sobre el aplicativo RTW (Real Time Workshop) para código ejecutable de máquina, en señales provenientes de sensores dentro de un mini-helicóptero robot. Los resultados presentados en este artículo hacen parte del proyecto de investigación adscrito a la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad de Medellín “Estimación del estado para el control de un mini-helicóptero robot – COLIBRÍ”. En el proyecto Colibrí participa el grupo de investigación de Arkadius del programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Medellín.

4.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En un UAV, existen unidades de medición de variables; entre estas, especialmente en el mini-helicóptero robot, hay una unidad de medición inercial (IMU) que suministra la aceleración y la tasa de giro de dicho vehículo para cada uno de los ejes X, Y y Z. A partir de estas medidas esenciales, se pueden estimar, gracias al uso del filtro Kalman, las variables de navegación como posición, velocidad y altura (SEUNG-MING, O., JOHNSON, E.N. (2006)). El filtro de Kalman es efectivo cuando existen ruidos tolerables, que se pueden modelar como ruido blanco gaussiano. En la práctica, es posible tener niveles elevados de ruido blanco y no solamente con características de ruido blanco, sino que es posible estar contaminados por ruidos espurios impulsivos, o de otra índole. Una muestra de esta contaminación es ilustrada en la figura 5. El problema es que las medidas de la IMU, en especial las de aceleración, están contaminadas por diversos tipos de ruido, y el reto es realizar un prefiltraje que ayude a la estimativa realizada en el filtrado de Kalman.

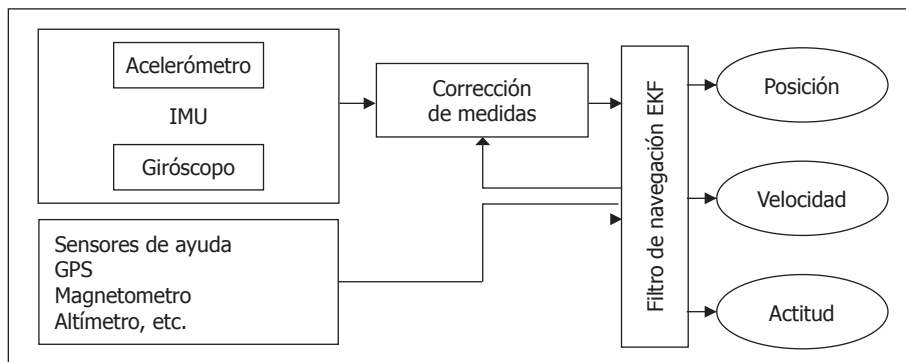


Figura 2. Topología típica de medidas para navegación usando filtrado Kalman.
FUENTE: Elaboración propia

4.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Teóricamente el filtro de Kalman es un estimador llamado a resolver el problema de estados instantáneos de un sistema dinámico pertur-

bado por ruido blanco, usando medidas linealmente relacionadas al estado pero contaminadas por ruido blanco. Se trata, entonces, de un vector de estados, en un modelo lineal de un sistema dinámico. Sin embargo, si el modelo no es lineal, es posible extender el uso del filtro de Kalman a través de un proceso de linearización. El resultado es llamado el filtro extendido de Kalman (EKF), esto es de forma matemática:

$$x(n + 1) = F(n + 1, n) x(n) + v_1(n) \quad (3.1)$$

$$y(n) = C(n) x(n) + v_2(n) \quad (3.2)$$

En donde

$x(n + 1)$	Son los estados estimados que se está interesado en conocer.
$y(n)$	Vector de proceso de entrada, en este caso la medida de los sensores.
$F(n + 1, n)$	Matriz de transición de estado, de carácter no lineal.
$C(n)$	Matriz de medida, de carácter no lineal.
$v_1(n), v_2(n)$	Son procesos ruido blanco, de media cero, no correlacionados con matrices de correlación $Q_1(n)$, $Q_2(n)$, respectivamente.

El algoritmo recursivo que minimiza el error en los datos estimados intenta minimizar el trazo de la matriz de error de correlación del estado, denotada como $K(n)$. Esto es, invertir el sistema dado en forma recursiva como calculado para cada n (HAYKIN, S. (1996)):

$$G(n) = K(n, n-1)C^H(n)[C(n)K(n, n-1)C^H(n) + Q_2(n)]^{-1} \quad (3.3)$$

$$\alpha(n) = y(n) - C(n, \hat{x}(n/y_{n-1})) \quad (3.4)$$

$$\hat{x}(n/y_n) = \hat{x}(n/y_{n-1}) + G(n)\alpha(n) \quad (3.5)$$

$$\hat{x}(n+1/y_n) = F(n, \hat{x}(n/y_n)) \quad (3.6)$$

$$K(n) = [I - G(n)C(n)]K(n, n-1) \quad (3.7)$$

$$K(n+1, n) = F(n+1, n)K(n)F^H(n+1, n) + Q_1(n) \quad (3.8)$$

Teniendo en cuenta las siguientes condiciones iniciales

$$\hat{x}(1/y_0) = E[x(1)] \quad (3.9)$$

$$K(1, 0) = E\left[(x(1) - E[x(1)])(x(1) - E[x(1)])^H\right] = P_0 \quad (3.10)$$

En el proyecto X representa las variables de posición en (X, Y, Z) , velocidad (Vx, Vy, Vz) , aceleración (Ax, Ay, Az) y giro (p, q, r) , entre otras.

4.4 PROPUESTA IMPLEMENTADA

Una forma de ajustar el filtro de Kalman extendido (EKF) es conociendo bien el tipo perturbación que afecta la estimativa y la medida ((3.1) y (3.2) respectivamente), esto se traduce en conocer $Q_1(n)$ y $Q_2(n)$. Aunque no es muy difícil estimar $Q_2(n)$, (en la práctica puede resultar dificultoso si existen otros tipos de perturbaciones), $Q_1(n)$ es más difícil de estimar, ya que se necesita realizar ensayos reales en la UAV y evaluar el modelo en la matriz de transición de estados linealizada.

La propuesta radica en usar una estimativa suave en la medida y , de forma que $y = \hat{y}$ en la ECUACIÓN (3.4) haciendo el cambio desde (4.2). Se recurre entonces a un algoritmo adaptativo, en este caso

RLS, para tomar de este el proyectado de y . Este algoritmo recursivo para n es:

$$L(n) = \frac{\lambda^{-1}P(n-1)y(n)}{1 + \lambda^{-1}y^H(n)P(n-1)y(n)} \quad (4.1)$$

$$\hat{y}(n) = \hat{w}^H(n-1)y(n) \quad (4.2)$$

$$\xi(n) = d(n) - \hat{y}(n) \quad (4.3)$$

$$\hat{w}(n) = \hat{w}(n-1) + L(n)\xi^*(n) \quad (4.4)$$

$$P(n) = \lambda^{-1}P(n-1) - \lambda^{-1}L(n)y^H(n)P(n-1) \quad (4.5)$$

Tomando las condiciones iniciales,

$$P(0) = \delta^{-1}I \quad (4.6)$$

$$\hat{w}(0) = 0 \quad (4.7)$$

En donde, λ es el factor de olvido que va de 0 a 1, δ es un escalar pequeño positivo y $d(n)$ es el dato de referencia deseado.

En el caso de las medidas del acelerómetro pertenecientes a la IMU, es un caso crítico, pues se presentó demasiada contaminación por diferentes clases de ruidos. En estos casos, debido a la cinemática del UAV, el valor esperado en esta variable es aproximadamente constante y el valor deseado se puede tomar en historia de las M muestras anteriores, esto es, tomando el estimador más simple:

$$d(n) = \frac{\sum_M y_n}{(M-1)} \quad (4.8)$$

Este bloque está implementado en Matlab / Simulink como se ilustra en la figura 3. El filtro de Kalman total EKF es ilustrado en la figura 4. Note que van casados en entrada y salida.

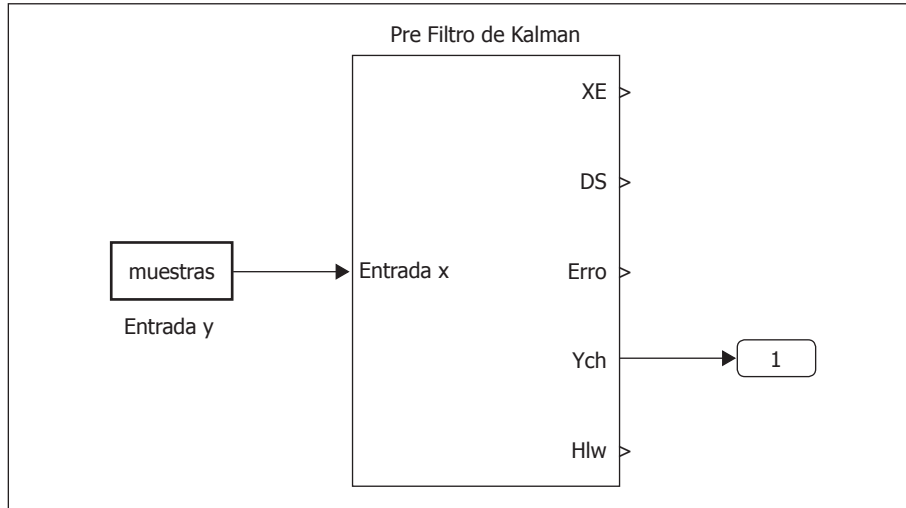


Figura 3. Bloque de prefiltro de Kalman simple. FUENTE: Elaboración propia

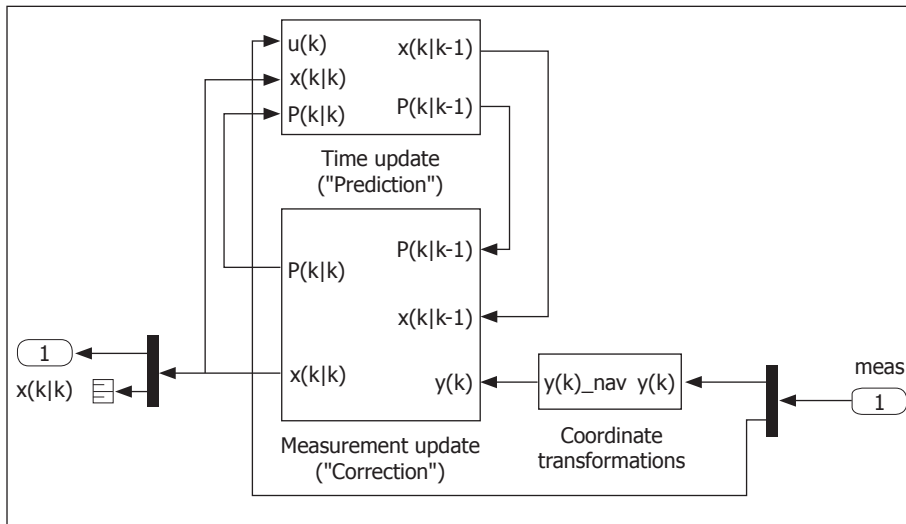


Figura 4. Diagrama de bloques del filtro EKF. FUENTE: Proyecto COLIBRÍ.

4.5 RESULTADOS

En pruebas realizadas de 5.5 minutos de vuelo, se tomaron datos reales de acelerómetros muestreados a 100Hz (33.000 muestras), caso especial ax (aceleración el eje x) que posee la mayor contaminación

observada. Las imágenes de las medidas sin prefiltro para una historia de $M = 16$ muestras están ilustradas en la figura 5, y contrastan con las medidas procesadas por el prefiltro en el filtro Kalman de la figura 6.

Como es característico en filtros Kalman, los rangos en que se observa más la acción de filtrado es donde se concentra la mayor variancia de la señal contaminada, es decir, según la figura 5, desde la muestra $(0.8 \times 10^4$ hasta $3.3 \times 10^4)$, en donde la reducción de la variancia fue aproximadamente un poco más del 10% después del prefiltro. Es de resaltar que los picos espurios de la señal contaminada de la figura 5, propios del arranque y despegue del helicóptero, producto del

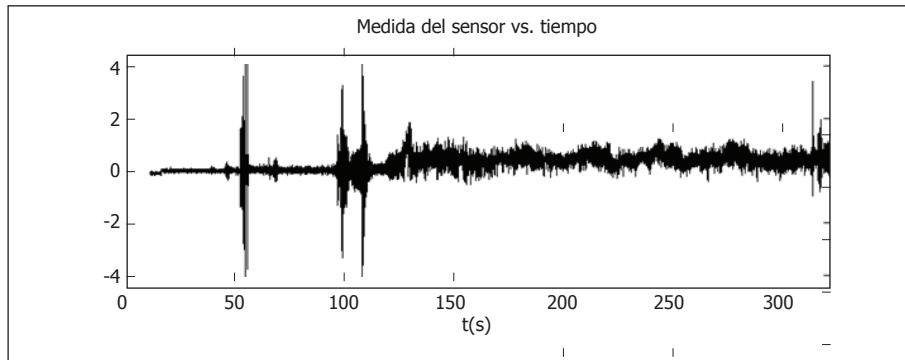


Figura 5. Medida del acelerómetro en el eje x sin prefiltro Kalman.

FUENTE: Elaboración propia

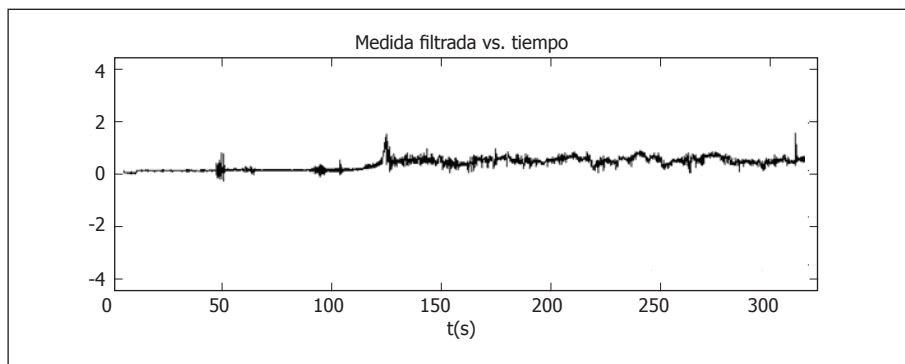


Figura 6. Medida del acelerómetro en el eje x con prefiltro Kalman.

FUENTE: Elaboración propia

excesivo pistoneo y emisión de carga de la bujía, fueron reducidos drásticamente, tal como se ilustra en la figura 6. Este hecho es la principal ventaja del pre-procesamiento propuesto e implementado.

4.6 CONCLUSIONES

Se realizó un proceso de estimativa en la medida durante el cálculo de las estimativas de estado. Los resultados ilustraron vía simulación que el prefiltro Kalman, aplicado a medidas de sensores, que presentan concentración de varias formas de ruido, ayuda a suavizar y contornar las señales medidas.

4.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HAYKIN, S. (1996). “Adaptive Filter Theory” Prentice Hall.
- METTLER, B. TISCHLER M. B. KANADE T.(2002). “System Identification Modeling of a Small – Scale Unmanned Rotorcraft for flight Control Design”, American Helicopter Society Journal, Vol 47, No 1, pp 50-63.
- MYUNGSOO, J.(1999). “State Estimation via sensor Modeling for Helicopter control using and indirect Kalman Filter”. Proceedings IEEE International Conference.
- SEUNG-MING, O., JOHNSON , E.N. (2006). “Development of UAV Navigation System Based on Unscented Kalman Filter”. AIAA Guidance, Navigation, and control Conference and Exhibit, 21-24 August, Keystone, Colorado.

CAPÍTULO 5

SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE IMÁGENES DE RECURSOS AMAZÓNICOS PROTOTIPO BASADO EN CONTENIDO Y EN EL MANEJO DE LA CALIDAD

*Jaime Alberto Echeverri Arias¹, Bell Manrique Losada²,
Francisco Javier Moreno Arboleda³, Laura Marcela Hoyos⁴, John Fernández⁵*

5.1 INTRODUCCIÓN

Internet está basado en un paradigma de búsqueda que hace difícil recuperar datos desde múltiples sitios y en su mayoría provee aplicaciones como motores de búsqueda y meta-buscadores que permiten a los usuarios buscar la información que necesitan, por medio de una búsqueda basada generalmente en recuperación de información sintáctica de textos. Debido a esto, se han desarrollado una serie de propuestas que tratan de integrar un conjunto de diferentes fuentes especializadas, para lo cual extraen, filtran y representan eficientemente la información obtenida de la web, pero la mayoría están enfocadas principalmente a la cantidad de información recuperada y a la calidad de la consulta, medida ésta con criterios de tiempo y costos de ejecución para encontrar planes óptimos, como lo muestran los trabajos de Ambite (1999).

¹ Magíster en Ingeniería de Sistemas, Docente investigador Universidad de Medellín

² Magíster en Ingeniería de Sistemas, Docente investigadora Universidad de la Amazonia.

³ Magíster en Ingeniería de Sistemas, Docente investigador Universidad Nacional de Colombia (Medellín).

⁴ Estudiante Ingeniería de Sistemas, Universidad de Medellín

⁵ Estudiante Ingeniería de Sistemas, Universidad de Medellín

De esta forma, esta propuesta se enfoca en la tarea de proponer un prototipo de sistema de recuperación de Imágenes, basado en contenido y en un modelo de calidad adecuado. Esto permite la ejecución de un proceso de búsqueda de imágenes en una colección de imágenes digitales en la web.

5.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En sistemas web, como las colecciones de imágenes digitales, el principal factor de eficiencia que tienen en cuenta las diferentes estrategias de procesamiento de consultas no es el tiempo de respuesta, como lo es en sistemas de información tradicional, sino la calidad de la información (IQ) de los resultados. Diferentes investigaciones se han acercado a este tema con la exploración de criterios de calidad para responder consultas de usuario en sistemas de información en la web (Naumann, 00).

Las aproximaciones convencionales para clasificar las características visuales en términos de descripciones textuales han demostrado ser inadecuadas para indexar imágenes (Lang, 1999). De hecho, la poca riqueza expresiva del texto, respecto a las características visuales, no permite explotar de forma plena las habilidades de la memoria del ser humano, y los resultados de una consulta pueden no ser relevantes de acuerdo con las expectativas del usuario. Esta es la razón por la que actualmente las tendencias se encaminan a utilizar contenidos visuales como descriptores. Las limitaciones de una aproximación basada en descripciones textuales y la oportunidad de apoyar la labor de los diseñadores sugiere incorporar al sistema la capacidad de incluir un sistema de consulta y recuperación basado en descriptores sintácticos y/o semánticos que permitan una aproximación mayor al contenido de las imágenes. Éste proporcionará un método de exploración y recuperación de las imágenes en función de, por ejemplo, el motivo de partida que ofrezca el diseñador. Es por este motivo que se hace necesario utilizar otros descriptores de mayor nivel expresivo.

En una primera aproximación éstos pueden ser derivados del análisis estructural de las imágenes, basándose en la utilización de elementos como el color, la forma y la textura que se obtienen en la etapa de análisis de la imagen. O bien agrupaciones u organizaciones de éstos. En un segundo nivel, la exploración se realiza a partir de la elección de un criterio, cuyo resultado es la obtención de una secuencia de coincidencias que, para su discriminación, pueden ir acompañadas de un valor numérico que indica la presencia y cercanía del criterio en cada una de las imágenes mostradas (Melchor y Valiente, 2001).

Los métodos de búsqueda basados en descriptores son extremadamente eficientes (Stone, 1998). Es por este motivo que es la forma más utilizada de enfocar las operaciones de búsqueda en el ámbito de las imágenes. Pero hay dos problemas principales en la aproximación basada en descriptores. Por un lado, el determinar qué descriptores hay que utilizar y, por otro lado, la representación de una determinada base de datos en forma de descriptores.

Si el usuario realiza de forma natural las consultas basándose en el contenido de las imágenes, se pueden utilizar técnicas de descripción del contenido de las mismas para realizar el análisis de las imágenes. Estas aplicaciones son difíciles de llevar a cabo por las técnicas clásicas de reconocimiento de objetos utilizadas en Visión por Computador, por la complejidad de la tarea de encontrar objetos generales en contextos abiertos. Así, es necesario profundizar en la temática de determinar el contenido de las imágenes, de forma que sea posible la clasificación de objetos. Este es uno de los ejes centrales de este trabajo.

La calidad de la información es un tema importante que tiene mucha consideración, y es tema de investigaciones sobre captura y modelamiento de la información, y no es la excepción en este tipo de ambientes de tratamiento y recuperación de imágenes. Sin embargo, pocos trabajos tratan de aplicar esa calidad de la información al proceso de planificación de consultas sobre la web (Naumann et al, 01), y mucho menos cuando se habla de bases de datos de Imágenes o colecciones de imágenes digitales en Internet.

En una base de datos tradicional, la planificación de consultas considera un conjunto de criterios basados en tiempos y costos de ejecución. Últimamente se están tratando criterios relacionados con la calidad de la información como completitud, frecuencia de actualización o exactitud. En estos sistemas se encuentran eficientemente los resultados de consultas con máxima calidad con respecto a los criterios IQ. Cuando se habla de bases de datos de imágenes o colecciones de imágenes digitales, son pocos los trabajos que se han ocupado de la planificación de consultas con manejo de criterios de calidad de la información, relacionados con esos descriptores básicos y típicos de las imágenes como forma, textura, entre otros.

Este tipo de sistemas normalmente se han enfocado hacia medir la recuperación de su información (imágenes) con criterios de calidad relacionados con minimalidad, costos de ejecución y tiempos de respuesta de sus consultas, y ha recibido poca atención el tratamiento de otros criterios (metadatos) que se relacionan con la calidad de la información de las respuestas, esto es, aspectos como la relevancia de acuerdo con las necesidades iniciales del usuario y con sus criterios de búsqueda particulares.

5.3 ESTADO DEL ARTE

A continuación se discuten las propuestas relacionadas con el control de calidad en sistemas de búsqueda en la web, en cuyo campo de acción se relacionan varios aspectos como lo son: la optimización de consultas tradicional, planificación de consultas en la web, calidad de la información en planificación de consultas Web. Igualmente se muestran los trabajos desarrollados alrededor de la recuperación de imágenes basada en contenido.

5.3.1 Control de calidad en sistemas de búsqueda en la web

Optimización de consultas tradicional

En la literatura de bases de datos, la optimización de consultas ha sido ampliamente estudiada. Un optimizador de consultas intenta

encontrar la forma algebraica más eficiente de una consulta y escoger métodos específicos para implementar cada operación de procesamiento de datos. La investigación desarrollada en esta sub-área (Chu y Hurley, 1982) se enfoca hacia la optimización de la consulta basada en criterios de eficiencia: minimización de tiempos y costos de ejecución.

Calidad del proceso de planificación en sistemas de información en la web

Los siguientes trabajos enfrentan el problema de la planificación de consultas y se acercan al tratamiento de la calidad de los planes en términos de selección de las fuentes, y eficiencia en términos de costos computacionales de ejecución de las consultas, sin tener en cuenta calidad de la información de las respuestas encontradas.

Gran número de proyectos han desarrollado propuestas en la planificación de consultas en mediadores. Por ejemplo, el Information Manifold (Levy et al., 1996b) y el TSIMMIS (Hammer et al., 1995) enfocan la planificación hacia la optimización basada en costos, donde primero un conjunto de planes recuperables son encontrados y luego se optimiza cada uno independientemente. El proyecto GARLIC (Tork Roth et al., 1996 y Roth y Schwarz, 1997) considera la optimización de costos para mediadores y evaluación de sub-consultas de las fuentes de información. El sistema SAGE (Knoblock, 1996) considera la calidad del plan, soportándola con la propuesta de intervención entre planificación y ejecución. El sistema OCCAM (Kwok y Weld, 1996) es un planificador para recuperación de información en dominios distribuidos y heterogéneos, que se enfoca principalmente en el problema de la selección de las fuentes relevantes para la consulta, mas no del procesamiento de la consulta como tal ni de la medición de la calidad de la información.

Un marco de trabajo más relacionado con el problema y que provee buenos resultados se presenta en Ambite (1999), donde se propone el paradigma de la planificación por reescritura PbR, que combina la selección de las fuentes y la optimización de la consulta basada en

costos. Esta propuesta tiene tres ejes de acción: la calidad del plan de la consulta, la generación de un plan inicial y las reglas de reescritura del plan; el corazón del proceso de planificación consiste en la aplicación iterativa de un conjunto de reglas de reescritura de un plan hasta que sea encontrado uno de calidad aceptable.

En Ives (2002) se propone y evalúa un conjunto de técnicas para procesamiento de consultas que se adaptan a su medio de ejecución, que permite al procesador de la consulta reaccionar a las condiciones cambiantes o al conocimiento que va creciendo en tiempo de ejecución. En comparación con otros trabajos, la calidad del procesamiento de la consulta mejora por la consideración de cambios en tiempos de ejecución y por las técnicas adaptativas que permiten mayor rapidez, sin embargo, igualmente la calidad la relaciona únicamente con eficiencia.

Calidad de la información en planificación de consultas

En Knoblock et al. (1997) se propone el Sistema ARIADNE basado en una arquitectura que hace eficiente la integración de múltiples fuentes por medio de métodos para mapearlas en una representación uniforme. Esta propuesta se construye basada en técnicas de representación de conocimiento, aprendizaje de máquina y planificación automatizada. Este trabajo está más enfocado hacia los esquemas de representación y herramientas de modelamiento de las fuentes, que hacia el procesamiento de la consulta como tal, en donde igualmente la calidad de los planes se mide con métricas basadas en costos. En Naumann (2000), se investiga la exploración de criterios de calidad de la información IQ para responder consultas de usuarios en SIBM y discute qué criterios de IQ son necesarios, cómo pueden ser adquiridos y cómo pueden ser usados para mejorar la calidad de los resultados de la consulta. Este autor plantea la importancia que tiene la calidad de la información en los sistemas distribuidos a gran escala, luego de algunos trabajos desarrollados en el área, y enfatiza la ausencia de investigaciones que apliquen razonamiento sobre la calidad de la información en el área de la

planificación de consultas sobre la web. Desarrolla un sistema que encuentra resultados de consulta con alta calidad, basado en criterios de calidad definidos, aplicado sobre un meta-motor de búsqueda que usa motores de búsqueda existentes como sus fuentes de información. Como criterios de calidad para este dominio se incluyen completitud y frecuencia de actualización, entre otros.

Chen et al. (1998) presenta una investigación sobre la calidad del procesamiento de consultas en la WWW, debido a muchos factores tales como tiempo impredecible de respuesta, resultados irrelevantes y datos no actualizados; propone un método para el procesamiento de consultas controlando la calidad en este ambiente web. Introduce parámetros de calidad que los usuarios pueden especificar cuando se introducen las consultas, al igual que funciones que son usadas para evaluar la bondad de estos parámetros y algoritmos de programación, planificación y ejecución.

5.3.2 Técnicas de recuperación de imágenes en colecciones digitales

Los avances recientes en tecnologías de computación y comunicación demandan herramientas de procesamiento de información para lograr sus objetivos. En los últimos años ha habido una sobre acumulación de datos digitales, tales como imágenes, vídeo y audio. Internet es un excelente ejemplo de bases de datos distribuidas, que contiene varios millones de imágenes. Otros casos de grandes bases de datos de imágenes incluyen bancos satelitales y médicos, donde es muchas veces difícil describir o anotar el contenido de las imágenes.

Técnicas que trabajan con sistemas de información tradicional han sido adecuadas por muchas aplicaciones que involucran registros alfanuméricos. Ellos pueden ser ordenados, indexados y buscados por coincidencia de patrones en una forma sencilla. Sin embargo, en muchas aplicaciones de bases de datos científicas, el contenido de información de imágenes no es explícito, y esto no es adecuado para la directa indexación, clasificación y recuperación. Particularmente,

las bases de datos de imágenes en gran escala han surgido como uno de los problemas más retadores en el campo de bases de datos científicas.

Los sistemas de recuperación de información visual

Están relacionados con almacenamiento eficiente y recuperación de registros. En general, son útiles solamente si pueden recuperar coincidencias aceptables en tiempo real. Adicional a palabras clave asignadas por un humano, los sistemas de recuperación de información (SRI) pueden usar el contenido visual de las imágenes como índices (color, textura y forma). Recientemente, varios sistemas web combinan atributos heterogéneos para mejorar la discriminación y clasificación de resultados. Mientras estos sistemas usan características de bajo nivel como color, textura y forma para consultas de imágenes, los usuarios usualmente tienen una noción más abstracta, usando características de bajo nivel para corresponder a abstracciones de alto nivel.

Una técnica interesante para cubrir la brecha que existe entre las descripciones textuales y pictóricas para explorar información al nivel de los documentos es tomada de la Recuperación de información, llamada “Análisis semántico ‘latente’”, y trabajada en Obeid et al. (2001). Primero se forma un corpus de documentos (en este caso, imágenes con un título); luego, por descomposición de valores singulares, el diccionario se correlaciona con las características derivadas de las imágenes. La búsqueda es por correlación oculta de características y títulos. La colección de imágenes consiste de diez categorías semánticas de cinco imágenes cada una. En este trabajo, se utilizan, para relacionar cada imagen de la colección, características intermedias que son características semánticas de bajo nivel y características de la imagen de alto nivel. Es decir, pueden ser utilizadas para producir conceptos de alto nivel y pueden ser aprendidas desde una base de datos de anotaciones pequeñas.

Existen numerosos sistemas de recuperación de imágenes basados en el contenido, los cuales incluyen alguna o varias caracte-

rísticas como color, textura, formas de objetos en la imagen, entre otros, para hacer la búsqueda. La mayoría son sistemas de propósito general, y faltan estudios en los que éstos se usen en aplicaciones prácticas. Algunos de los más interesantes son QBIC (<http://www.qbic.almaden.ibm.com>) y MARS (<http://jadzia.ifp.uiuc.edu:8000>). Un resumen interesante de las técnicas y sistemas de recuperación basados en el contenido, así como abundante bibliografía sobre el tema se puede encontrar en (Rui et al., 1999).

5.4 MÓDULO DE EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS

Es el elemento más importante de todo el proceso de automatización de imágenes; debe abstraer la información que debe quedar incluida en la base de datos (en los atributos de cada imagen individualmente). A cada imagen se le asocia un vector de características (atributos), que incluye información sobre color, relaciones de color y formas que se detallan a continuación.

- *Color y relaciones de color:* una imagen en color se representa en un espacio de color tridimensional. Existen numerosos espacios de representación del color. El más conocido es el RGB. En este espacio, cualquier color se representa como un vector tridimensional indicando la proporción de rojo, verde y azul. Un primer atributo de color que se utilizará es el histograma de color (Brunelli y Mich, 1999). Estadísticamente, un histograma representa la probabilidad de que un píxel de la imagen tome un determinado color (tríada de colores).

- *Formas.* Extraer las formas más significativas de una imagen es algo complejo. Este proceso se complica aún más si los objetos están superpuestos, como lo están en imágenes reales.

Distintos algoritmos de segmentación se pueden encontrar en Sonka (1998). Cada objeto de la imagen se caracteriza así:

1. *Cálculo de puntos frontera:* se usa el algoritmo de Canny (Canny, 1986).

2. *Seguimiento del contorno*: se trata de obtener una secuencia de puntos consecutivos que no se intercepten y que definan la frontera de un objeto. Se calcula conectando los puntos frontera obtenidos en la etapa anterior (Jain, 1989).

3. *Cálculo de la curva de curvaturas*: esta curva contiene información sobre el grado de curvatura que presenta el contorno en cada uno de los puntos del mismo. Generalmente para su cálculo se utiliza el algoritmo de Mokhtarian y Mackworth (1986).

4. *Textura*: se refiere a patrones visuales homogéneos formados por diversos colores o intensidades. Es una propiedad innata de prácticamente todas las superficies, como nubes, árboles, pelo o ladrillos. Las características de textura se suelen representar usando una matriz de concurrencia, propiedades psicológicas (contraste, regularidad, tosquedad, aspereza...), transformadas wavelet entre otras.

5. *Diseño del color*: se trata de usar conjuntamente la característica de color y las relaciones espaciales. Una aproximación sencilla es dividir la imagen en bloques y extraer las características de color de cada bloque. Otra aproximación es segmentar la imagen en regiones con características de color destacadas y luego almacenar el conjunto de características de color y la posición de cada región. Su desventaja es la problemática que supone la segmentación de una imagen. Otras técnicas usan momentos de color sobre regiones o usan una matriz de concurrencia de color.

5.5 MANEJO DE LA CALIDAD

En general, no existe un consenso a la hora de definir y clasificar las características de calidad que debe presentar un sistema y sus componentes, en este caso las imágenes, que son las fuentes de información del SRI. Para determinar las propiedades de calidad a tener en cuenta en el diseño del SRI, esta propuesta tiene en cuenta la terminología utilizada para productos software, en donde una característica de calidad de un componente es un conjunto de propiedades mediante las cuales se evalúa y describe su calidad. En

este trabajo, se denomina criterio a una propiedad de calidad a la que se le puede asignar una métrica, la cual es un procedimiento que examina un componente y produce un dato simple, un símbolo (p. e. excelente, sí, no) o un número.

Un modelo de calidad (Bertoa et al., 2003) es el conjunto de características y sub-características y de cómo éstas se relacionan entre sí. El objetivo principal es detectar los criterios que pueden describir la calidad en cada fuente (imagen), teniendo en cuenta la información que suministran y que facilitan su valoración por el motor de búsqueda. La definición de los criterios fue estrictamente teórica, es decir, producto de una revisión de literatura sobre la calidad asociada a fuentes de información web (Bennett et al., 1996), (Smith, 1999), (Lee et al., 2001), (Naumann y Rolker, 2000).

5.6 SELECCIÓN Y DEFINICIÓN DE CRITERIOS

Teniendo en cuenta la clasificación de criterios propuesta en (Kahn et al., 2002) y adaptada en Manrique (2006), se determinaron tres niveles o clases de criterios de calidad: el usuario, ya que es él quien decide si la información recibida es cualitativamente buena o no; el proceso de la consulta, que contiene criterios relacionados con el proceso de acceso a la información; y la fuente, ya que para muchos criterios la fuente en sí misma es el origen de los criterios de calidad. Se define el siguiente modelo de calidad compuesto por un criterio, una descripción de criterio y una métrica asociada, descrito en la tabla 1.

Para el SRI, una métrica para un criterio es la medida cuantitativa del grado en que una fuente posee cierto criterio, tal que examina una fuente y produce un dato (símbolo: -SI, NO -F, V o un número). Siguiendo la estructura de una métrica (Naumann, 2001), ésta debe contener: definición, unidad, escala y fuente. Teniendo en cuenta el número de fuentes que maneje el SRI y el número de criterios IQ definidos, el sistema maneja una matriz en donde las columnas representan el número de fuentes asociadas al sistema, y las filas

Tabla 1. Modelo de calidad. Fuente: Elaboración propia.

	<i>Criterio</i>	<i>Métrica</i>	<i>Detalle</i>
<i>Usuario</i>	Relevancia	Def.	Grado de satisfacción del usuario de acuerdo con sus necesidades iniciales de búsqueda.
		Descr.	Relacionada con las necesidades del usuario. Si la información contenida en la fuente logra satisfacer sus necesidades en términos del tipo y profundidad proporcionado.
		Métr.	No es mensurable. Depende de la semántica que ofrezcan las fuentes de información (ontologías locales) y el modelo de dominio (ontología global); y de la retroalimentación del usuario.
<i>Fuente</i>	Cobertura	Def.	Número de objetos del mundo real representados por cada fuente de información.
		Descr.	Proporciona la información que se necesita.
		Métr.	# Objetos Ontología Global / # Objetos Ontología Fuente
	Precisión	Def.	Porcentaje de atributos de las fuentes que coinciden con los requeridos.
		Descr.	Evidencia de sesgos o imprecisiones en una fuente. Inconsistencias en la información.
		Métr.	# Objetos Ontología Fuente / # Objetos Ontología Consulta
	Confiabilidad (Reputación)	Def.	Memoria de comportamiento desde operaciones pasadas
		Descr.	Ver la confiabilidad de una fuente, relacionada con la reputación de la fuente (memoria de comportamientos pasados), más no como confianza o expectativa acerca del comportamiento futuro.
		Métr.	No es mensurable. Depende de valores guardados de consultas anteriores cuya valoración por usuario haya sido aceptada como relevante. Utilización de un metadato adicional que guarde continuamente estos valores.
<i>Proceso</i>	Tiempo de Respuesta	Def.	Tiempo hasta el cual es recibido el resultado completo de la consulta
		Descr.	Valor entregado por la fuente, o guardado en cada consulta.
		Métr.	Valor entregado por la fuente.

el número de criterios IQ. Los valores en cada casilla representan el valor asociado a cada criterio para cada fuente, según la métrica determinada. Como producto de esta matriz, se genera un vector asociado para cada fuente de información, con pesos asignados a él teniendo en cuenta el número de criterios definidos. Por ejemplo si una fuente A tiene tres criterios asociados, su vector asociado es (5,0,3) en donde 5, 0 y 3 son los pesos asignados a cada criterio.

5.7 ALGORITMO DE CLASIFICACIÓN

Una característica importante dentro del banco de imágenes de recursos acuáticos amazónicos es el brillo. Se puede definir el brillo como la característica o sensación que indica un área más o menos iluminada, intensidad o luminosidad de la imagen, es decir, la tendencia a tonos claros u oscuros de cada píxel. Se define en este caso una imagen con valor de brillo 100% como aquella en la cual la totalidad de sus píxeles tienen valor 255 (blanco) en escala de grises; el modelo HSI (Hue Saturation Intensity) se basa en el modo de percepción de los colores que tienen los humanos. Dicho sistema caracteriza el color en tono o tinte (Hue), saturación o cromatismo (Saturation) componentes que se muestran favorables de cara a realizar segmentaciones de la imagen. Usando esta característica, el usuario puede especificar su búsqueda de acuerdo con los siguientes criterios: imágenes con muy poco brillo, poco brillo, brillo medio, alto brillo y muy alto brillo.

Según esta clasificación, se diseñó un sistema difuso que permite determinar el grado de pertenencia de una imagen a cada uno de estos conjuntos. Los valores numéricos de cada uno de estos conjuntos se obtienen dividiendo el universo del discurso de la variable brillo [0% ,100%] por el número de conjuntos difusos que se distribuyen sobre el universo del discurso y que facilitan el etiquetamiento. El dominio de cada conjunto se obtiene como el cociente entre la longitud del universo del discurso y el número de conjuntos difusos seleccionados.

El valor del traslape entre conjuntos se seleccionó con el 20% del área de cada conjunto (con el fin de garantizar que una imagen pueda pertenecer simultáneamente a varios conjuntos), la recomendación dada por Zadeh establece valores en el intervalo [15%, 25%]. La imagen siguiente presenta la distribución de conjuntos según los valores seleccionados.

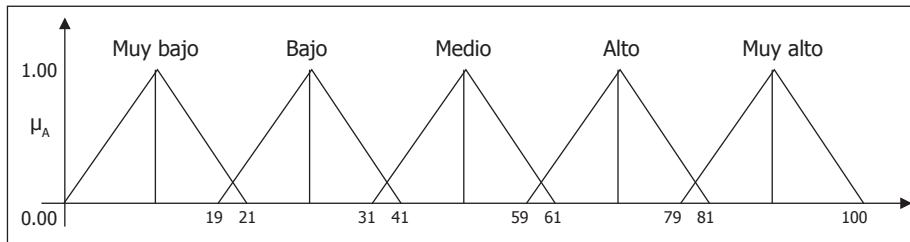


Figura 1. Distribución de conjuntos difusos. FUENTE: Elaboración propia

La medición del brillo se realiza por medio de la determinación de las características de la imagen; se tiene la imagen en formato RGB y se lleva al formato YCrCb ; con este formato es posible cuantificar el nivel de brillo de la imagen. El espacio de trabajo YCbCr se basa en la obtención de la luminancia (luminosidad) y la crominancia (color) a partir de la elección de los colores primarios, y del nivel de blanco de referencia se puede obtener la expresión fundamental de la luminancia como:

$$Y=0,3R+0,59G+0,11B$$

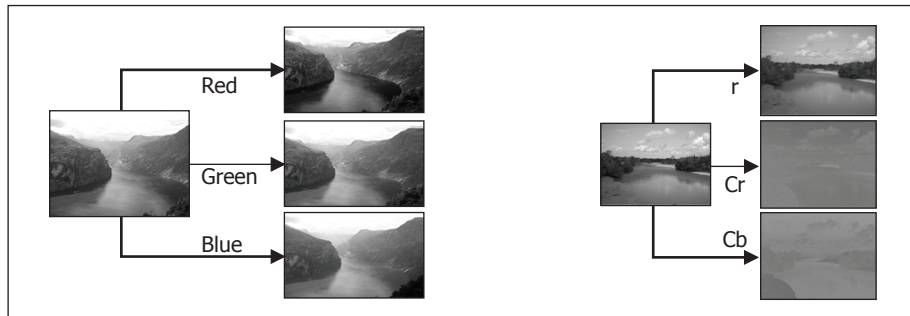


Figura 2. Obtención de los Componentes RGB. FUENTE: Elaboración propia

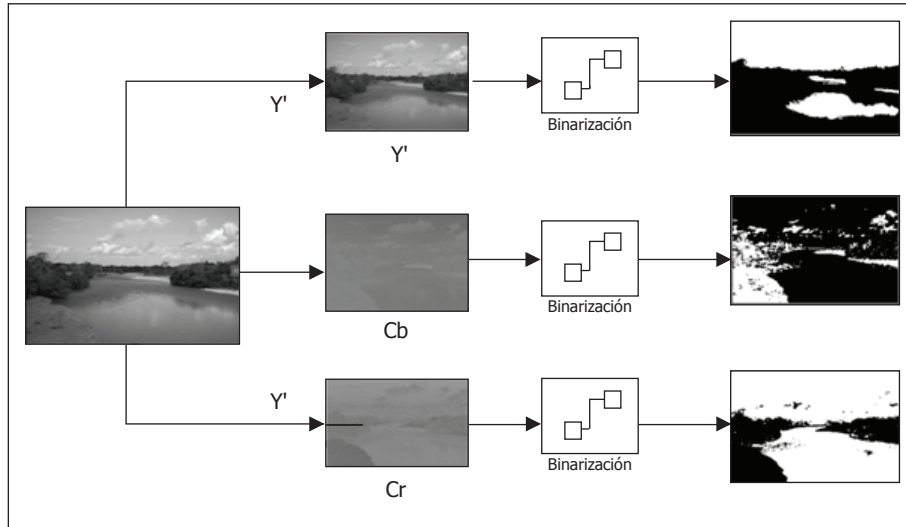


Figura 3. Componentes Y'-Cb-Cr. FUENTE: Elaboración propia

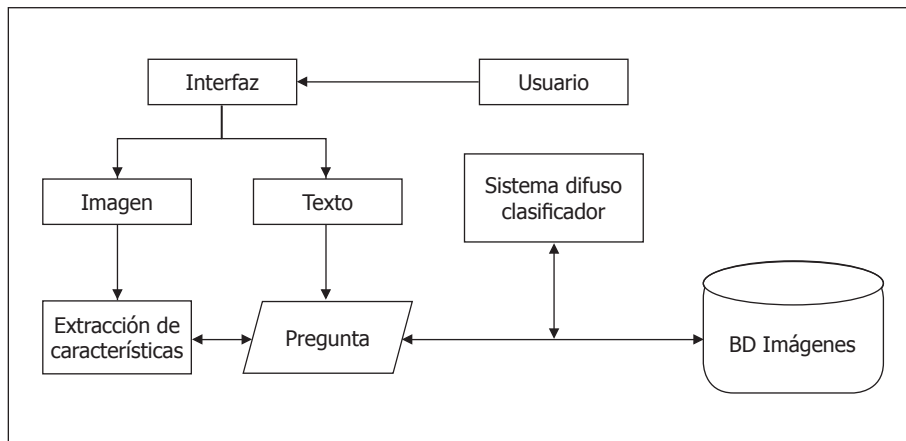


Figura 4. Modelo del Prototipo. FUENTE: Elaboración propia

Donde RGB son las señales de salida de la cámara de vídeo tri-color.

Las figuras 2 y 3 presentan los resultados de la aplicación de los algoritmos para la cuantificación del nivel de brillo de cada imagen.

La figura 4 presenta un bosquejo del sistema empleado.

5.8 RESULTADOS

Búsqueda secuencial

La figura a continuación presenta los resultados de las búsquedas ejecutadas sobre el prototipo desarrollado.

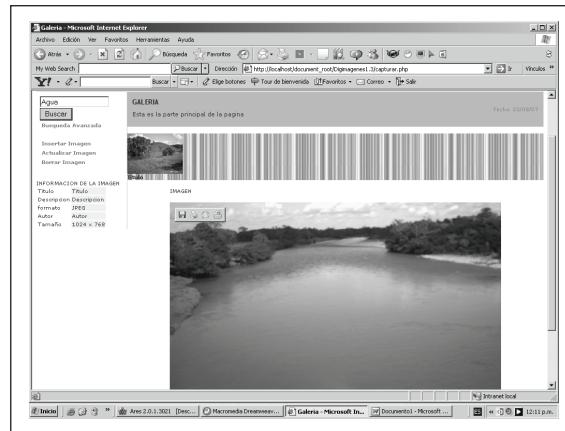


Figura 5. Búsqueda secuencial. Fuente: Elaboración propia.

Pantallazo de la búsqueda secuencial, que muestra el resultado de la búsqueda, la información más relevante de la imagen, una imagen aleatoria de la base de datos y los links para seguir buscando.

Búsqueda avanzada



Figura 6. Búsqueda avanzada. FUENTE: Elaboración propia

Búsqueda avanzada por formato

Muestra todos los resultados encontrados en la base de datos para el tipo de imagen que se necesita; este mismo método se utiliza para descripción y autor.

Búsqueda a color

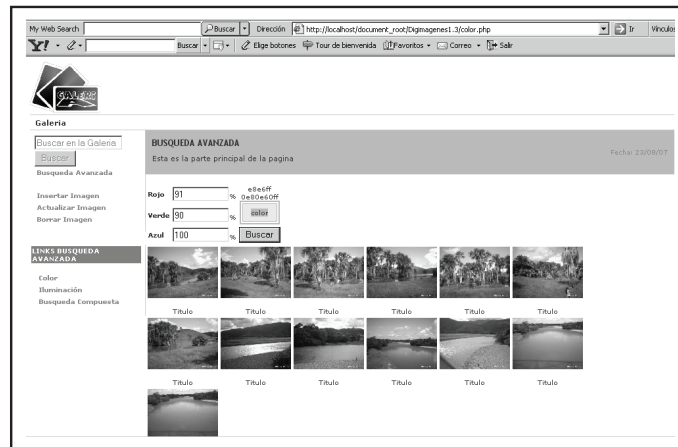


Figura 7. Resultado de la búsqueda por color. FUENTE: Elaboración propia



Figura 8. Búsqueda por color. FUENTE: Elaboración propia

La búsqueda por color solicita al usuario digitar los porcentajes de color que desea en la imagen, y el sistema retorna las imágenes con cantidades aproximadas a esos porcentajes dados; lo mismo sucede con la iluminación: se pide un factor de iluminación y el sistema trae los resultados más próximos.

5.9 CONCLUSIONES

Se requiere desarrollar sistemas de recuperación de imágenes en contextos específicos que integren, además de técnicas basadas en contenido, técnicas de control de calidad de información que se trabaje en la colección digital.

La lógica difusa como herramienta de apoyo a los sistemas de clasificación facilita las búsquedas en los sistemas de colecciones de imágenes digitales, y permite a los usuarios cualificar variables de tipo cuantitativo que normalmente son de fácil descripción por medios textuales.

Como contexto específico de aplicación se definió la colección digital de imágenes de ecosistemas acuáticos utilizando la base pictórica que tiene el grupo de investigación CAPREA de la Universidad de la Amazonia, Florencia (Caquetá).

5.10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBITE JOSE LUIS (1999). Planning by Rewriting. PhD Thesis, University of Southern California.
- BRUNELLI, R., & MICH, O., (1999). On the Use of Histograms for Image Retrieval. IEEE Conference on Multimedia Computing & Systems, pp. 143-147.
- CANNY, J.(1986). A Computational Approach to Edge Detection. IEEE Transactions on Pattern Anal. and Machine.
- YEUNG, BOON-LOCK YEO, CHARLES A (1998) Active browsing using similarity pyramids". Storage and Retrieval for Image and Video Databases VII, Minerva M. Bourman, Editors, Proceedings of SPIE, vol. 3656,pp 144-154.

- HAMMER J., ET AL. (1995). Information translation, mediation, and mosaic-based browsing in the TSIMMIS system. En: Proceedings of the ACM SIGMOD international Conference on Management of Data, San Jose, California.
- JAIN, A.K., (1989). Fundamentals of Digital Image Processing. Prentice Hall.
- KNOBLOCK C. A (1996). Building a planner for information gathering: A report from the trenches. En: Proceedings of the Third International Conference on Artificial Intelligence Planning System.
- ALON Y LEVY, et al (1996). Query-Answering algorithms for information agents. En 13th AAAI National Conference Artificial Intelligence, Portland, Oregon.
- MELCHOR Y VALIENTE (2001). Bases de datos para Multimedia: Recuperación por Contenido. Manuel Agustí i Melchor, José Miguel Valiente González. Departamento de Informática de Sistemas y Computadores. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- MOKHTARIAN, F AND MACKWORTH, A (1986). Scale-based Description and Recognition of Planar Curves and Two-dimensional Shapes. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intellingence, pp. 34-43.
- NAUMANN FELIX (2000). Quality-driven Query Planning. Dissertation Outline Humboldt-University at zu Berlin.
- JEDYNAK AND MOHAMED DAOUDI (2001). Image Indexing & Retrieval Using Intermediate Features. Mohamad Obeid, Bruno En: <http://cis.jhu.edu/Bruno/intermediate-features.pdf>.
- ROTH M. Y SCHWARZ P (1997). Architecture for Legacy Data Sources. Proc. VLDB Conference.
- RUI ET AL (1999). Image Retrieval: Current Techniques, Promising Directions, and Open Issues. Journal of Visual Communications and Image Representation, 10, pp. 39-46.
- SONKA, M ET AL (1998). Image Processing, Analysis and Machine Vision. PWS Publishing.
- ROTH MARY TORK ET AL (1996). The Garlic project. SIGMOD Record (ACM Special Interest Group on Management of Data).
- QBIC (<http://www.qbic.almaden.ibm.com>)
- MARS (<http://jadzia.ifp.uiuc.edu:8000>)

CAPÍTULO 6

ESTIMACIÓN DE ESFUERZO EN PROYECTOS DE DESARROLLO DE SOFTWARE. UN NUEVO MODELO PARA ESTIMACIÓN TEMPRANA

*Ana Lucía Pérez¹, Liliana González²,
Juan Felipe Maillane Tabares³*

6.1 INTRODUCCIÓN

La inversión total en desarrollo y mantenimiento de software se ha incrementado rápidamente en los últimos años, y se estima que tiene un costo de más de US\$200 millones por año (Arora et al., 2005). Claramente, una parte importante para el control de esta situación es la capacidad que tienen las firmas de anticipar de manera precisa el esfuerzo requerido para el desarrollo de software (Barbacci, 1985).

El principal factor que influye en el cálculo del esfuerzo es el tamaño del producto a desarrollar; es por esto que se han propuesto métodos diferentes del juicio experto que buscan disminuir la incertidumbre en la estimación del tamaño (Jorgensen et al., 2001). Entre las técnicas más estructuradas se encuentran: puntos función, puntos característica, puntos de casos de uso, entre otras. Cada una de estas técnicas tiene fórmulas para calcular el esfuerzo de acuerdo con el tamaño del producto a construir.

La técnica de puntos función o Function Points (Albrecht, 1979) (Albrecht et al., 1983) proporciona una unidad de medida para la

¹ PhD (c). Universidad de Antioquia. Departamento de Ingeniería de Sistemas.

² MSc(c). Universidad de Medellín. Facultad de Ingenierías. Programa Ingeniería de Sistemas.

³ IS. Universidad de Antioquia. Departamento de Ingeniería de Sistemas.

funcionalidad de los sistemas software determinando sus componentes principales: entradas, salidas, consultas o peticiones interactivas (cuando el usuario hace una petición al sistema y éste devuelve una respuesta), archivos lógicos internos (archivos maestros) y archivos lógicos externos (interfaces con otras aplicaciones), y luego asociando estos componentes a características generales de un sistema (eficiencia, reusabilidad, facilidad de operación y mantenimiento, entre otras) (Sánchez, 1999).

La técnica ya descrita fue pensada para medir el tamaño funcional de sistemas software orientados a la gestión, pero, era necesario contar con una técnica útil para medir el tamaño funcional de otras aplicaciones. Con esta intención (Jones, 1996) desarrolló una técnica experimental, denominada puntos característica (Feature Points), para adaptar la técnica de puntos función a sistemas software científicos y de ingeniería.

Los puntos característica se han venido utilizando con gran éxito en la medición de diversos sistemas software: sistemas en tiempo real, sistemas embebidos, software para inteligencia artificial, los cuales se caracterizan por la complejidad algorítmica que implementan y el escaso número de entradas y salidas que tienen.

La técnica de puntos de casos de uso (Peralta, 2004) (Ribu, 2001) permite determinar el tamaño de una aplicación de acuerdo con el número de actores y casos de uso involucrados. Luego permite refinar este cálculo teniendo en cuenta el factor de complejidad técnica y el factor de ambiente en el cual se incluyen factores como las habilidades y el entrenamiento del grupo involucrado en el desarrollo.

Los citados modelos para estimación del esfuerzo presentan limitaciones cuando se utilizan en etapas tempranas del ciclo de vida de desarrollo. Por esto en este artículo se describe un nuevo modelo útil para estimar esfuerzo en las primeras etapas del desarrollo, cuyas entradas dependen de históricos de proyectos realizados y de la experiencia de proyectos similares.

La estructura del artículo se indica a continuación: en la sección 2 se presentan las técnicas utilizadas en la actualidad para calcular el

esfuerzo, de acuerdo con el tamaño del producto software a construir; en la sección 3 se presenta un nuevo método de estimación temprana de esfuerzo, para luego pasar a la sección 4 en donde se precisan resultados obtenidos con el “Modelo de capacidad”; y por último, en la sección 5 se presentan algunas conclusiones.

6.2 TÉCNICAS PARA LA ESTIMACIÓN DEL ESFUERZO DE ACUERDO CON EL TAMAÑO DEL PRODUCTO SOFTWARE

El principal factor que influye en el cálculo del esfuerzo es el tamaño del producto a desarrollar; es por esto que se han propuesto métodos diferentes al juicio de expertos, que buscan disminuir la incertidumbre en la estimación (Jorgensen et al., 2001).

Existen dos tipos de medidas para cuantificar el tamaño de una aplicación (Sánchez 1999): las medidas técnicas, que son realizadas desde el punto de vista del desarrollador del producto; y las medidas funcionales, logradas desde el punto de vista del usuario, siendo independientes de cualquier aspecto técnico y de cualquier decisión de implementación.

A continuación se presentan algunas de las técnicas existentes para la medición del tamaño funcional de una aplicación, y sus formas asociadas para calcular el esfuerzo, recurso humano y duración de un proyecto de desarrollo software.

6.3 ANÁLISIS DE PUNTOS FUNCIÓN

A finales de los años 70, Albrecht (1979, 1983) desarrolló una unidad de medida capaz de determinar la funcionalidad de los sistemas software. A esta métrica la llamó “puntos de funcionalidad” o, más sencillamente, “puntos función”. La teoría de Albrecht se basaba en estudiar componentes o características principales del sistema software, como: entradas, salidas, consultas o peticiones interactivas (cuando el usuario hace una petición al sistema y éste

devuelve una respuesta), archivos lógicos internos (archivos maestros) y archivos lógicos externos (interfaces con otras aplicaciones).

Pero, el conteo de puntos función no se limitaba sólo a contar el número de componentes del sistema, sino que era preciso aplicar ciertos valores representativos de la complejidad de cada elemento, y de la dificultad en su implementación. Así, tras muchos ensayos, Albrecht obtuvo empíricamente los factores de peso que deben aplicarse a cada uno de los cinco componentes ya mencionados.

En octubre de 1979, Albrecht (1979) presentó por vez primera los resultados obtenidos en sus estudios, proponiendo la técnica de puntos función, como una nueva métrica de las aplicaciones software.

La técnica de puntos función implementa una medida objetiva y cuantitativa del tamaño de las aplicaciones, desde el punto de vista de los requisitos especificados por el usuario final de la aplicación. Además, esta técnica es un medio de entendimiento entre lo que el usuario quiere y lo que al final se le suministra. Su valoración se deriva a partir de los requisitos funcionales que la aplicación debe satisfacer, modelos de datos, definición de pantallas e interfaces gráficas y diagramas de análisis.

6.4 PROCESO PARA EL CÁLCULO DE PUNTOS FUNCIÓN

En puntos función se hace la medición del tamaño del producto software analizando sus requisitos funcionales, los cuales son determinados a partir de las necesidades concretas del cliente.

Los datos de partida necesarios para comenzar el proceso de análisis de puntos función (FPA) están localizados en documentos técnicos que recogen información como: los objetivos que se pretenden cubrir, las necesidades y requerimientos del usuario; la información disponible acerca del sistema actual (si existe); las restricciones concretas que puedan existir; la interfaz gráfica que el usuario desea; las interfaces existentes con otros sistemas; los modelos preliminares de datos físicos y/o lógicos. Los pasos a seguir para la aplicación de esta técnica son:

- **Planificar el conteo de puntos función**

El tamaño en puntos función de un sistema software puede ser determinado en cualquier etapa de su ciclo de vida, incluso, antes de concluir el proceso de especificación de requisitos, caso en el cual se recomienda realizar nuevamente el conteo, una vez hayan quedado perfectamente definidos todos los requisitos funcionales de la aplicación a construir. Es importante hacer varios conteos de puntos función en diferentes etapas del proceso de desarrollo, para luego comparar los resultados obtenidos y analizar el impacto que causan algunos cambios como la introducción de nuevos componentes en el sistema.

- **Recolectar información**

En este paso se analiza qué tipo de información se requiere, dependiendo de la etapa en la que se desee hacer el proceso de análisis de puntos función (FPA). Si se aplica el proceso de FPA antes de finalizar la especificación total de requisitos software, se debe disponer de la siguiente documentación: objetivos que se pretenden cubrir, necesidades y requerimientos del usuario; información disponible acerca del sistema actual (si existe); cualquier objetivo específico que se pretenda para el nuevo sistema y restricciones concretas que puedan existir; diagrama de contexto del sistema en su conjunto.

Es importante tener en cuenta que la técnica puede ser nuevamente aplicada tras las etapas de análisis y diseño del sistema, y se pueden esperar resultados más precisos. Para ello, sería conveniente disponer de la siguiente documentación: interfaz gráfica de usuario que se desea (formatos de pantalla, cuadros de diálogo y menús de opciones); interfaces existentes con otros sistemas; posibles formularios de entrada de datos al sistema; modelos de datos físicos y/o lógicos preliminares; formato y tamaño de los archivos del sistema.

Comparando entre sí los resultados en puntos función obtenidos antes y después de estas etapas, se logra una visión de cómo ha crecido la aplicación en cuanto a funcionalidad, desde la etapa de especificación de requisitos.

• Calcular el factor de ajuste (VAF)

El factor de ajuste (VAF), también llamado factor de complejidad técnica, debería calcularse ya en las primeras ocasiones en las que se realiza el conteo de puntos función para, más adelante, ir recalculándolo y actualizándolo, a medida que se obtiene más información sobre el sistema.

El VAF está basado en las 14 características generales de un sistema (General System Characteristics - GSC), que evalúan la funcionalidad general de la aplicación a construir. En la tabla 1, extraída de Sánchez (1999), se muestran las 14 características generales de un sistema (GSC), junto con las preguntas típicas que han de formularse acerca de ellas.

Tabla 1. Características generales del sistema (GSC) para el cálculo de puntos función. FUENTE: (Sánchez, 1999).

<i>Características generales del sistema (GSC's)</i>		<i>Preguntas a resolver</i>	<i>Ejemplo</i>
1	Comunicación de datos	¿Qué necesidades de comunicación requiere el sistema para transferencia o intercambio de información?	Una aplicación para el sector bancario, donde se requieren numerosas transacciones monetarias.
2	Procesamiento distribuido de datos	¿Existen funciones de procesamiento distribuido? ¿Cómo son manejados los datos distribuidos?	Un motor de búsqueda de internet, donde el procesamiento está distribuido en muchas máquinas
3	Rendimiento	¿Es importante el tiempo de respuesta? ¿Es crítico el rendimiento?	Una aplicación para el control del tráfico aéreo, que debe proporcionar continuamente información precisa sobre la posición y rumbo de los aviones

<i>Características generales del sistema (GSC's)</i>		<i>Preguntas a resolver</i>	<i>Ejemplo</i>
4	Uso del hardware existente	¿En qué medida se está utilizando la plataforma hardware en donde se ejecutará la aplicación?	Un sistema para matrículas en la universidad, donde concurren cientos de alumnos al mismo tiempo
5	Transacciones	¿Con qué frecuencia se ejecutan las transacciones? (diariamente, semanalmente, mensualmente, etc.)	Una aplicación para el sector bancario, donde deben realizarse millones de transacciones en la noche
6	Entrada interactiva de datos	¿Requiere el sistema entrada interactiva de datos? ¿Cuánta información se captura on-line? (en %)	Un programa en el que los datos de entrada provienen de papeles o formularios impresos.
7	Eficiencia	¿Se diseñó la aplicación pensando en que fuera eficiente y fácilmente utilizable por el usuario?	Un programa de análisis financiero utilizado por el directivo de una empresa, capaz de orientarle y asesorarle
8	Actualizaciones on-line	¿Cuántos archivos lógicos internos se actualizan interactivamente, es decir, por medio de transacciones on-line?	Una aplicación para reserva de tiquetes, en donde se deben bloquear y modificar ciertos registros en las bases de datos, para evitar que un mismo puesto sea vendido dos veces.
9	Complejidad de procesamiento	¿Existe mucha carga en cuanto a procesamiento lógico y/o matemático? ¿Es complejo el procesamiento interno?	Un sistema para diagnóstico médico, que realiza costosas operaciones de decisión lógica, hasta obtener un resultado

<i>Características generales del sistema (GSC's)</i>		<i>Preguntas a resolver</i>	<i>Ejemplo</i>
10	Reusabilidad	¿Se desarrolló la aplicación para satisfacer las necesidades de más de un usuario? ¿Se ha diseñado el código para ser reutilizable?	Un procesador de textos en el que, por ejemplo, su barra de menús puede utilizarse en una hoja de cálculo, un generador de informes de una base de datos, etc.
11	Facilidad de conversión e instalación	¿Qué dificultad tienen la conversión y la instalación? ¿Se ha incluido en el diseño, la conversión y la instalación?	Cualquier aplicación de propósito general, en la que cualquier persona pueda realizar la instalación fácilmente.
12	Facilidad de operación	¿Requiere el sistema copias de seguridad y de recuperación fiables? ¿Cómo son de efectivos y qué grado de automatización tienen los procesos de arranque, copia de seguridad y recuperación de datos?	Una aplicación para tratamiento de grandes cantidades de información, donde es muy importante la efectividad de los procesos de backup y recuperación de datos.
13	Múltiples instalaciones	¿Se diseñó y desarrolló el sistema para soportar múltiples instalaciones en diferentes organizaciones?	Una aplicación software para una multinacional con oficinas en varios países
14	Facilidad de mantenimiento	¿Se diseñó y desarrolló el sistema pensando en facilitar el posterior proceso de mantenimiento?	

De cada característica (GSC), se califica, según la tabla 2, su grado de importancia dentro de la aplicación.

Tabla 2. Grados de relevancia de las GSC en el sistema. FUENTE: (Sánchez, 1999).

Valor	0	1	2	3	4	5
Significado	Sin influencia	Incidental	Moderado	Medio	Significativo	Esencial

Una vez que se ha determinado la influencia de cada GSC en el sistema (valor entre 0 y 5), se utiliza la ECUACIÓN 1 para obtener el valor del VAF:

$$VAF = 0.65 + 0.01 \sum_{i=1}^{14} F_i \quad \text{ECUACIÓN 1. Cálculo del valor de ajuste (VAF)}$$

Donde F_i es el valor adjudicado a cada GSC.

Como se puede observar, el VAF varía entre 0.65 (si cada F_i vale 0, es decir, si las GSC no tienen ninguna influencia en el sistema) y entre 1.35 (si cada F_i vale 5, es decir, si todas las GSC son esenciales para el sistema). En las secciones posteriores, se muestra cómo el VAF se utiliza como factor corrector del conteo total de puntos función.

• **Hacer el conteo de transacciones lógicas y archivos lógicos**

Este paso consiste en determinar cuáles son los componentes del sistema a medir, que deben ser tenidos en cuenta para el conteo de puntos función. En el FPA, los sistemas están divididos en cinco componentes básicos:

Entradas externas. Cada entrada externa es un proceso elemental a través del cual se permite la entrada de datos al sistema. Estos datos pueden provenir de una aplicación ajena al sistema, o de un usuario que ingresa información a través de una pantalla de entrada de datos. En las entradas externas no se incluyen las consultas ni las peticiones interactivas, ya que éstas se contabilizan por separado. Los datos de entrada son usados para mantener uno o más archivos lógicos internos (archivos maestros). Para determinar las entradas externas, se

examinan las pantallas de introducción de datos, los cuadros de diálogo y el formato de los formularios de entrada, si es que existen. Si se trata de entradas procedentes de otras aplicaciones distintas, éstas deberán necesariamente actualizar los archivos lógicos internos del sistema que se pretende medir.

Salidas externas. Cada salida externa es un proceso elemental que permite la salida de datos resultantes de la ejecución de algoritmos o de la evaluación de fórmulas dentro del sistema. Las salidas externas generan informes o archivos de salida que sirven de entrada a otras aplicaciones. En la creación de estos informes o archivos de salida intervienen uno o más archivos lógicos internos y/o archivos externos de interfaz. Una forma de determinar las salidas externas de un sistema es observar los posibles informes de salida de datos que se generan.

Consultas externas (o peticiones al sistema). Cada consulta externa es un proceso elemental con componentes de entrada y de salida que consiste en la selección y recuperación de datos de uno o más archivos lógicos internos y/o archivos externos de interfaz, y su posterior devolución al usuario o aplicación que los solicitó. Se trata, entonces, de peticiones interactivas que requieren una respuesta del sistema. En el proceso de entrada no se actualiza ningún archivo lógico interno, y en el proceso de salida los datos devueltos no contienen datos derivados, es decir, datos resultantes de la ejecución de algoritmos o de la evaluación de fórmulas. Una forma de detectar las consultas externas es examinar los formularios de entrada, las pantallas de entrada de datos y los cuadros de diálogo.

Archivos lógicos internos (o archivos maestros). Un archivo lógico interno es un conjunto de datos definidos por el usuario y relacionados lógicamente, que residen en su totalidad, en la propia aplicación, y que son mantenidos a través de las entradas externas del sistema. Para determinar los archivos lógicos internos, se examinan los modelos físicos y/o lógicos preliminares, los formatos de tablas y las descripciones de bases de datos.

Archivos externos de interfaz. Un archivo externo de interfaz es un conjunto de datos definidos por el usuario, que están relacionados

lógicamente y que sólo son usados para propósitos de referencia. Los datos residen en su totalidad fuera de los límites de la aplicación y son mantenidos por otras aplicaciones. En definitiva, un archivo externo de interfaz es un archivo lógico interno para otra aplicación. Para determinar los archivos externos de interfaz se suelen analizar las descripciones de interfaces del sistema con otras aplicaciones.

Agrupando las entradas externas, las salidas externas y las consultas externas se obtiene el conjunto de *transacciones lógicas* del sistema, y agrupando los archivos lógicos internos y los archivos externos de interfaz se obtiene el conjunto de *archivos lógicos* del sistema.

A continuación, se ilustra un ejemplo: en un programa de corrección ortográfica, se tienen dos entradas (el nombre del archivo a examinar y el nombre del diccionario personalizado), tres salidas (el número total de palabras revisadas, el número de errores encontrados y la lista de palabras erróneas), dos peticiones al sistema (el usuario puede saber en cualquier instante el número de palabras procesadas hasta ese momento, y la lista de palabras erróneas), dos archivos externos (el archivo a examinar y el diccionario personalizado) y un archivo interno (el diccionario general). En este ejemplo, el número total de elementos del sistema es: $2 + 3 + 2 + 2 + 1 = 10$.

• **Hacer la clasificación de componentes**

Una vez se ha hecho el conteo de las transacciones lógicas y los archivos lógicos, se procede a la clasificación de los componentes del sistema. Es importante mencionar que esta clasificación es por naturaleza subjetiva, y, para eliminar esta subjetividad, se formulan preguntas concretas acerca de los componentes, como las que se muestran a continuación:

Entradas externas: ¿Necesitan las entradas externas acceder a más o a menos de 3 archivos? Para todas las entradas externas que hacen referencia a más de 3 archivos, todo lo que se necesita saber es si la entrada externa en cuestión está formada por más o por menos de 4 tipos de datos distintos. Si consta de más de 4 tipos de datos distintos, la entrada externa será considerada de complejidad alta,

y si consta de menos de 4 tipos de datos distintos será considerada de complejidad media. Las entradas externas que hacen referencia a menos de 3 archivos son de complejidad baja.

Salidas externas: ¿Necesitan las salidas externas acceder a más o a menos de 4 archivos? Para todas las salidas externas que hacen referencia a más de 4 archivos, todo lo que se necesita saber es si la salida externa en cuestión está formada por más o por menos de 5 tipos de datos distintos. Si consta de más de 5 tipos de datos distintos, la salida externa será considerada de complejidad alta y si consta de menos de 5 tipos de datos distintos será considerada de complejidad media. Las salidas externas que hacen referencia a menos de 4 archivos, son de complejidad baja.

Consultas externas. Como cada consulta externa tiene un componente de entrada y otro de salida, para el componente de entrada se siguen los criterios aplicables a las entradas externas, y para el componente de salida los criterios aplicables a las salidas externas. Si se obtienen complejidades distintas para cada componente, se elige la complejidad más alta.

Archivos lógicos internos y archivos externos de interfaz. ¿Están compuestos los archivos por un solo tipo de registro, o por más de un tipo de registro?

Para los archivos que contengan un solo tipo de registro, se averigua si el archivo contiene más o menos de 50 tipos de datos distintos. Si contiene más de 50 tipos de datos distintos, el archivo será considerado de complejidad alta y si contiene menos de 50 tipos de datos distintos, será considerado de complejidad baja. Para archivos formados por más de un tipo de registro, cada registro debe considerarse aparte y debe ser contado por separado.

- **Revisar el valor de ajuste (VAF)**

Para asegurar una mayor precisión en los resultados, es necesario volver a calcular el factor de ajuste (VAF) tal y como se hizo en el paso 3, para revisar que no se hayan omitido características que en este punto se tienen más claras, luego del conteo y clasificación

de las componentes del sistema. Para esta revisión se emplean los mismos criterios ya mencionados en el en el paso 3 (calcular el factor de ajuste (VAF)).

• **Tabular los resultados**

Luego de tener el valor de ajuste (VAF) revisado y la clasificación de componentes del sistema, se procede a diligenciar la tabla 3, en la cual, las filas representan los componentes del sistema, y las columnas representan la complejidad asociada a cada tipo de componente. Inicialmente, se hallan los puntos función sin ajustar (PFsA), y posteriormente, al aplicar el valor de ajuste (VAF), se obtienen los puntos función ajustados (PFA).

Tabla 3. Tabulación de resultados en puntos función.

FUENTE: Elaboración propia.

<i>Tipo de Componente</i>	<i>Complejidad del componente</i>			<i>Total</i>
	<i>Baja</i>	<i>Media</i>		<i>Alta</i>
Nº Entradas externas	___*3	___*4	___*6	
Nº Salidas externas	___*4	___*5	___*7	
Nº Consultas externas	___*3	___*4	___*6	
Nº Archivos lógicos internos	___*7	___*10	___*15	
Nº Archivos externos de interfaz	___*5	___*7	___*10	
Puntos función sin ajustar (PFsA):				
Factor de ajuste (VAF)				
Puntos función ajustados (PFA)				PFsA*VAF

Al diligenciar la tabla anterior, se tendrá el tamaño de la aplicación a desarrollar en términos de puntos función, y este resultado servirá como base para calcular otros parámetros en la estimación, tales como esfuerzo de desarrollo y la duración del proyecto.

• **Estimar el esfuerzo de desarrollo**

La tabla 4, extraída de (Sánchez 1999), muestra el uso de la técnica de análisis de puntos función (FPA) en combinación con otra técnica (micro o macro-estimación), para estimar el esfuerzo de desarrollo:

Tabla 4. Utilización del FPA en la estimación del esfuerzo de desarrollo.

FUENTE: Elaboración propia.

<i>Técnica</i>	<i>Uso de los puntos función</i>
Micro-estimación	El alcance del proyecto, definido en el primer paso del análisis de puntos función, ayuda a determinar cuáles son las tareas a realizar.
Macro-estimación	El tamaño funcional permite calcular la productividad esperada, según lo observado en proyectos anteriores. Además, el tamaño funcional es un dato de entrada clave para la mayoría de las técnicas de estimación

A continuación se explica la combinación entre la técnica de análisis de puntos función (FPA) y la técnica de micro-estimación; la técnica de macro-estimación no se abordará porque, no es útil cuando se trata de proyectos pequeños, según afirma Capers Jones [JONES 1996], y lo ideal es presentar una solución útil para cualquier tipo de proyecto.

La técnica de micro-estimación incluye la técnica de análisis de puntos función (FPA) al calcular el tamaño funcional, factor clave en la estimación del esfuerzo. La correlación entre el tamaño y el esfuerzo no es lineal, porque el esfuerzo crece más rápidamente que el tamaño funcional. De lo anterior se deduce que si crece el tamaño del proyecto, decrece la productividad en el proceso de desarrollo. La relación comentada entre esfuerzo y tamaño funcional queda reflejada en la ECUACIÓN 2, presentada a continuación:

$$\text{Esfuerzo} = \text{tamaño en puntos función (PF)} \quad \text{ECUACIÓN 2. Cálculo del esfuerzo} \\ * \text{tasa de productividad} \quad \text{de desarrollo}$$

Donde la tasa de productividad tiene unidades de Horas/PF o PF/Mes, y se obtiene habitualmente de la experiencia anterior en proyectos de características similares. Esta experiencia la tiene almacenada cada organización en una base de datos histórica que contiene información relevante sobre cada una de las aplicaciones que ha desarrollado. Si no se cuenta con una base de datos propia, se puede acudir a otras alternativas para poder hacer uso de la técnica, pero los resultados pueden no ser los esperados, debido a que cada organización tiene características propias que influyen tanto en sus procesos de desarrollo como en la productividad de dichos procesos.

- **Estimar la duración del proyecto**

Conociendo el tamaño funcional de una aplicación software en las primeras etapas del ciclo de vida, puede estimarse la duración total del proceso de desarrollo del proyecto.

Para la estimación de la duración del proyecto, existen diversas ecuaciones. Jones (1996) propone la ECUACIÓN 3:

$$Duración = Tamaño en Puntos Función^{0.4}$$

ECUACIÓN 3. Cálculo de la duración en un proyecto software según Jones (Jones, 1996).

Donde la duración está dada en meses.

Serge *et al* (1997) proponen la siguiente ecuación (ECUACIÓN 4), donde relaciona la duración del proyecto con el esfuerzo de desarrollo:

$$Duración = 0.662 * (Esfuerzo)^{0.328}$$

ECUACIÓN 4. Cálculo de la duración en un proyecto software según Serge *et al* (1997).

6.5 PUNTOS CARACTERÍSTICA

La técnica de análisis de puntos función, como se mencionó anteriormente, fue desarrollada para medir el tamaño funcional de sistemas

software orientados a la gestión, pero, era necesario contar con una técnica útil para medir el tamaño funcional de otras aplicaciones. Con esta intención, Capers Jones (Jones 1986) desarrolló una técnica experimental, denominada puntos característica (Feature Points), para adaptar la técnica de puntos función a sistemas software científicos y de ingeniería.

Los puntos característica se han venido utilizando con gran éxito en la medición de sistemas software muy variados: sistemas en tiempo real, sistemas embebidos, software para inteligencia artificial, los cuales se caracterizan por la complejidad algorítmica que implementan y el escaso número de entradas y salidas que tienen.

6.6 PROCESO PARA EL CÁLCULO DE PUNTOS CARACTERÍSTICA

La técnica de puntos característica introduce un nuevo componente, los *algoritmos*, además de los cinco componentes ya existentes en la técnica de puntos función (entradas externas, salidas externas, consultas externas, archivos lógicos internos y archivos externos de interfaz). El término algoritmo, para efectos de explicar la técnica, se definirá como “*un problema computacional de alcance y límites bien definidos, que se implementa dentro de una determinada aplicación informática*”.

Para implementar la técnica de puntos característica, se sigue la misma metodología de la técnica de puntos función, y al nuevo componente (los algoritmos), se le asigna un factor de peso por defecto, de 3, pero, este valor puede cambiar entre 1 y 10, de acuerdo con la complejidad que presenten los algoritmos que se usen en la aplicación. Esta complejidad está dada por el número de pasos de cálculo o reglas de que consta el algoritmo, y por el número de factores o datos que necesita para trabajar. Para los demás componentes del sistema, se usa un único factor de peso (complejidad) para cada uno de ellos, como puede verse en la tabla 5:

Tabla 5. Tabulación de resultados en puntos función.
FUENTE: Elaboración propia.

<i>Tipo de componente</i>	<i>Complejidad de componente</i>	<i>Total</i>
N° Entradas externas	___*4	
N° Salidas externas	___*5	
N° Consultas externas	___*4	
N° Archivos lógicos internos	___*7	
N° Archivos externos de interfaz	___*7	
N° Algoritmos	___*3	
Puntos característica sin ajustar (PCsA):		
Factor de ajuste (VAF)		
Puntos característica ajustados (PCA)		PCsA*VAF

Luego de tener el tamaño funcional, en puntos característica, de la aplicación a construir, se procede a aplicar las ecuaciones ya presentadas en la sección donde se presenta la técnica de análisis de puntos función, pero, con las siguientes modificaciones:

Esfuerzo = Tamaño en puntos característica (PC) * tasa de productividad

ECUACIÓN 5. Cálculo del esfuerzo de desarrollo

Duración = (Tamaño en puntos característica)^{0.4}

ECUACIÓN 6. Cálculo de la duración en un proyecto software, según Jones.

Duración = 0.662 * (Esfuerzo)^{0.328}

ECUACIÓN 7. Cálculo de la duración en un proyecto software, según Oligny.

6.7 PUNTOS DE CASOS DE USO

El método de puntos de casos de uso, propuesto originalmente por Gustav Karner de Objectory AB, y posteriormente refinado por muchos otros autores, permite determinar inicialmente el tamaño de una aplicación de acuerdo con la funcionalidad que proveerá al usuario; y luego, proporciona las fórmulas para estimar el esfuerzo, el recurso humano y la duración requeridos para el proyecto de desarrollo software (Peralta, 2004) (Ribu, 2001).

• Proceso para el cálculo de puntos de casos de uso

Puntos de casos de uso es una técnica de estimación que asigna “pesos” a un cierto número de factores, para finalmente, determinar el tamaño del software a fabricar, y con esto, contabilizar el tiempo total planificado para el desarrollo. A continuación, se detallan los pasos a seguir para la aplicación de este método (Peralta, 2004).

• Calcular los puntos de casos de uso sin ajustar

El primer paso para la estimación consiste en el cálculo de los puntos de casos de uso sin ajustar. Este valor se calcula a partir la ECUACIÓN 8

$$UUCP = UAW + UUCW \quad \text{ECUACIÓN 8. Cálculo de puntos de casos de uso sin ajustar}$$

donde

UUCP: Puntos de casos de uso sin ajustar

UAW: Factor de peso de los actores sin ajustar

UUCW: Factor de peso de los casos de uso sin ajustar

El factor de peso de los actores sin ajustar (*UAW*) se calcula mediante un análisis de la cantidad de actores presentes en el sistema y la complejidad de cada uno de ellos. La complejidad de los actores se establece teniendo en cuenta, en primer lugar, si se trata de una persona o de otro sistema, y en segundo lugar, la forma en la que el actor interactúa con el sistema. Los criterios se muestran en la tabla 6:

Tabla 6. Criterios para determinar complejidad de actores.
FUENTE: Elaboración propia.

<i>Tipo de actor</i>	<i>Descripción</i>	<i>Factor de peso</i>
Simple	Otro sistema que interactúa con el sistema a desarrollar mediante una interfaz de programación.	1
Medio	Otro sistema que interactúa con el sistema a desarrollar mediante un protocolo o una interfaz basada en texto	2
Complejo	Una persona que interactúa con el sistema a desarrollar mediante una interfaz gráfica	3

El factor de peso de los casos de uso sin ajustar (UUCW) se calcula mediante un análisis de la cantidad de casos de uso presentes en el sistema y la complejidad de cada uno de ellos. La complejidad de los casos de uso se establece teniendo en cuenta la cantidad de transacciones efectuadas en el mismo, donde una transacción se entiende como una secuencia de actividades atómica, es decir, se efectúa la secuencia de actividades completa, o no se efectúa ninguna de las actividades de la secuencia. Los criterios se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Criterios para determinar complejidad de casos de uso.
FUENTE: Elaboración propia.

<i>Tipo de caso de uso</i>	<i>Descripción</i>	<i>Factor de peso</i>
Simple	El caso de uso contiene de 1 a 3 transacciones	5
Medio	El caso de uso contiene de 4 a 7 transacciones	10
Complejo	El caso de uso contiene más de 8 transacciones	15

Entendida una transacción como una secuencia atómica de actividades, es decir, se efectúa la secuencia de actividades completa, o no se efectúa ninguna de las actividades de la secuencia. Las

transacciones tienen una cierta correspondencia con los flujos dentro del caso de uso (Peralta, 2004).

• **Calcular los puntos de casos de uso ajustados**

Una vez que se tienen los puntos de casos de uso sin ajustar, se debe ajustar este valor mediante la ecuación:

$$UCP = UUCP \cdot TCF \cdot EF \quad \text{ECUACIÓN 9. Cálculo de puntos de casos de uso ajustados}$$

donde

UCP: Puntos de casos de uso ajustados

UUCP: Puntos de casos de uso sin ajustar

TCF: Factor de complejidad técnica

EF: Factor de ambiente

El factor de complejidad técnica (*TCF*) se calcula mediante la cuantificación de un conjunto de factores que determinan la complejidad técnica del sistema. Cada uno de los factores se cuantifica con un valor de 0 a 5, donde 0 significa un aporte irrelevante, y 5 un aporte muy importante. En la tabla 8 se muestra el significado y el peso de cada uno de estos factores:

Tabla 8. Factores de complejidad técnica. FUENTE: Elaboración propia.

<i>Factor</i>	<i>Descripción</i>	<i>Peso</i>
TCF1	Sistema distribuido	2
TCF2	Objetivos de performance o tiempo de respuesta	1
TCF3	Eficiencia del usuario final	1
TCF4	Procesamiento interno complejo	1
TCF5	El código debe ser reutilizable	1
TCF6	Facilidad de instalación	0.5
TCF7	Facilidad de uso	0.5

<i>Factor</i>	<i>Descripción</i>	<i>Peso</i>
TCF8	Portabilidad	2
TCF9	Facilidad de cambio	1
TCF10	Concurrencia	1
TCF11	Incluye objetivos especiales de seguridad	1
TCF12	Provee acceso directo a terceras partes	1
TCF13	Se requieren facilidades especiales de entrenamiento a usuarios	1

La ecuación para calcular finalmente el factor de complejidad técnica se presenta a continuación:

$$TCF = 0.6 + 0.01 \cdot \sum (\text{Peso}_i \times \text{Valor asignado}_i)$$

ECUACIÓN 10. Cálculo del factor de complejidad técnica.

El factor de ambiente (*EF*) se calcula teniendo en cuenta factores como las habilidades y el entrenamiento del grupo involucrado en el desarrollo, ya que estos factores tienen un gran impacto en las estimaciones de tiempo. Este factor se determina mediante la cuantificación de un conjunto de factores en una escala de valores de 0 a 5. En la tabla 9 se muestra el significado y el peso de cada uno de estos factores:

Tabla 9. Factores de ambiente. FUENTE: Elaboración propia.

<i>Factor</i>	<i>Descripción</i>	<i>Peso</i>
E1	Familiaridad con el modelo de proyecto utilizado	1.5
E2	Experiencia en la aplicación	0.5
E3	Experiencia en modelos orientados a objetos	1
E4	Capacidad del analista líder	0.5
E5	Motivación	1

<i>Factor</i>	<i>Descripción</i>	<i>Peso</i>
E6	Estabilidad de los requerimientos	2
E7	Personal Part-time	-1
E8	Dificultad del lenguaje de programación	-1

Para los factores E1 al E4, un valor asignado de 0 significa sin experiencia, 3 experiencia media, y 5 amplia experiencia (experto). Para el factor E5, 0 significa sin motivación para el proyecto, 3 motivación media y 5 alta motivación. Para el factor E6, 0 significa requerimientos extremadamente inestables, 3 estabilidad media y 5 requerimientos estables sin posibilidad de cambios. Para el factor E7, 0 significa que no hay personal part-time (es decir todos son full-time), 3 significa mitad y mitad, y 5 significa que todo el personal es part-time (nadie es full-time). Para el factor E8, 0 significa que el lenguaje de programación es fácil de usar, 3 medio y 5 que el lenguaje es extremadamente difícil. El factor de ambiente se calcula mediante la ECUACIÓN 11:

$$EF = 1.4 - 0.03 \cdot (\text{Peso}_i \cdot \text{Valor asignado}_i) \quad \text{ECUACIÓN 11. Cálculo del factor de ambiente}$$

• Estimar el esfuerzo a partir de los puntos de casos de uso

Karner originalmente sugirió que cada punto de caso de uso requiere 20 horas-hombre. Posteriormente, surgieron otros refinamientos que proponen una granularidad más fina, según el siguiente criterio:

Se contabilizan cuántos factores de los que afectan al factor de ambiente están por debajo del valor medio (3), para los factores E1 a E6.

Se contabilizan cuántos factores de los que afectan al factor de ambiente están por encima del valor medio (3), para los factores E7 y E8.

Si el total es 2 ó menos, se utiliza el factor de conversión 20 horas-hombre/punto de caso de uso, es decir, un punto de caso de uso toma 20 horas-hombre.

Si el total es 3 ó 4, se utiliza el factor de conversión 28 horas-hombre/punto de caso de uso, es decir, un punto de caso de uso toma 28 horas-hombre.

Si el total es mayor o igual que 5, se recomienda efectuar cambios en el proyecto, ya que se considera que el riesgo de fracaso del mismo es demasiado alto.

El esfuerzo en horas-hombre está dado por:

$$E = UCP \cdot CF \quad \text{ECUACIÓN 12. Cálculo del esfuerzo de desarrollo}$$

donde

E: esfuerzo estimado en horas-hombre

UCP: puntos de casos de uso ajustados

CF: factor de conversión

Se debe tener en cuenta que este método proporciona una estimación del esfuerzo en horas-hombre contemplando sólo el desarrollo de la funcionalidad especificada en los casos de uso.

Finalmente, para una estimación más completa de la duración total del proyecto, hay que agregar a la estimación del esfuerzo obtenida por los puntos de casos de uso, las estimaciones de esfuerzo de las demás actividades relacionadas con el desarrollo de software. Para ello se puede tener en cuenta el siguiente criterio, que estadísticamente se considera aceptable. El criterio plantea la distribución del esfuerzo entre las diferentes actividades de un proyecto, según la tabla.

Tabla 10. Distribución del esfuerzo en las actividades de desarrollo.

FUENTE: Elaboración propia.

<i>Actividad</i>	<i>Porcentaje</i>
Análisis	10%
Diseño	20%
Programación	40%
Pruebas	15%
Sobrecarga (Otras actividades)	15%

Obviamente, estos valores no son absolutos y pueden variar de acuerdo con las características de la organización y del proyecto.

El esfuerzo total, como ya se dijo, está dado en horas-hombre, y significa el número de horas que requiere una sola persona para terminar el proyecto de desarrollo. Entonces, la duración de dicho proyecto dependerá del número de personas que trabajarán en él y de las actividades que puedan desarrollarse en paralelo.

6.8 PUNTOS OBJETO

Esta técnica de estimación es relativamente nueva, y útil en aquellas aplicaciones que pueden desarrollarse con un alto componente de reutilización de software, es decir, como si se tratara de tomar componentes ya desarrollados, ensamblarlos y adaptarlos hasta conformar la nueva aplicación. Además, la técnica resulta útil en aplicaciones desarrolladas con herramientas de desarrollo RAD (Rapid Application Development), las cuales generan automáticamente, todo tipo de componentes software para el sistema que se está desarrollando (interfaces gráficas, prototipos operativos, entre otros).

La técnica de puntos objeto mide el tamaño funcional de una aplicación software, en función del número de pantallas generadas, informes producidos y, en general, cualquier módulo generado por herramientas de desarrollo RAD, que haga parte de la aplicación a construir. Además de medir el tamaño funcional, esta técnica tiene una forma asociada para estimar el esfuerzo de desarrollo.

Esta medida del tamaño es usada en el submodelo de COCOMO II denominado “composición de la aplicación” como punto de partida para hacer estimaciones de esfuerzo, duración y costos de un proyecto de desarrollo software.

• Proceso para el cálculo de puntos objeto

El proceso a seguir para la estimación en puntos objeto tiene cierta similitud con el proceso de conteo de puntos función, sólo que se tiene en cuenta un factor adicional: el porcentaje de componentes

reutilizados que integrarán la aplicación. Este será el factor de ajuste para el conteo de puntos objeto, de igual manera que lo era el VAF para el conteo de puntos función.

A continuación se muestra el proceso a seguir para calcular los puntos objeto:

• **Contabilización de objetos**

En este primer paso de deben contar los objetos del sistema que resultan de interés para la estimación, es decir, pantallas de interfaz, informes y módulos elaborados en herramientas de desarrollo RAD.

• **Clasificación de los objetos**

Los objetos identificados en el paso 1 deberán clasificarse en cuanto a su nivel de complejidad. Existen 3 niveles posibles de complejidad: bajo, medio y alto; todos ellos en función de los atributos *srvr* y *clnt*. El atributo *srvr* indica el número de tablas de datos del servidor (mainframe o equivalente) utilizadas por las pantallas de interfaz o por los informes generados por la aplicación; el atributo *clnt* indica el número de tablas de datos del cliente (ordenador personal o estación de trabajo) utilizadas por las pantallas de interfaz o por los informes generados por la aplicación.

En la tabla 11 se presenta una forma de clasificar los objetos de acuerdo con los atributos *srvr* y *clnt*:

Tabla 11. Clasificación de objetos por complejidad. FUENTE: Elaboración propia.

<i>Pantallas de interfaz</i>				<i>Informes</i>			
Nro. de vistas que contiene	Nro. y origen de las tablas de datos			Nro. de secciones que contiene	Nro. y origen de las tablas de datos		
	Total < 4 (< 2 srvr y < 3clnt)	Total < 8 (2-3 srvr y 3-5 clnt)	Total > 8 (> 3 srvr y > 5 clnt)		Total < 4 (< 2 srvr y < 3clnt)	Total < 8 (2-3srvr y 3-5 clnt)	Total > 8 (> 3 srvr y > 5 clnt)
< 3	Baja	Baja	Media	0-1	Baja	Baja	Media
3-7	Baja	Media	Alta	2-3	Baja	Media	Alta
> 8	Media	Alta	Alta	>4	Media	Alta	Alta

En la tabla no se mencionan los módulos elaborados en herramientas de desarrollo RAD porque estos componentes se consideran de complejidad alta.

• Asignación de pesos a los objetos

Una vez clasificado cada objeto, hay que asignarle un valor (peso) concreto en puntos objeto, que representará el esfuerzo requerido para su implementación. Los valores propuestos por el modelo COCOMO II son los que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 12. Pesos en puntos objeto de acuerdo a la complejidad de los objetos. FUENTE: Elaboración propia.

<i>Tipo de objeto</i>	<i>Complejidad del objeto</i>		
	<i>Baja</i>	<i>Media</i>	<i>Alta</i>
Pantallas de interfaz	1	2	3
Informes	2	5	8
Componentes RAD	-	-	10

• Cálculo del número total de puntos objeto sin ajustar

El número total de puntos objeto sin ajustar ($POsA$) será la suma de todos los puntos objeto asignados a cada uno de los componentes del sistema (PO_i), tal como lo muestra la ecuación 1.12:

$$POsA = \sum_i PO_i \quad \text{ECUACIÓN 13. Número total de puntos objeto sin ajustar}$$

• Cálculo del número total de puntos objeto ajustados

Para calcular el número total de puntos objeto ajustados (POA), se usa la ecuación 14, en donde se multiplica el número total de puntos objeto sin ajustar ($POsA$) por el porcentaje de componentes reutilizados ($\%r$) que se espera incorporar al sistema. Luego de hacer esta multiplicación se tendrá un número que representa el tamaño funcional de la aplicación en estudio.

$$POA = POsA * \frac{(100 - \%or}{100} \quad \text{ECUACIÓN 14. Puntos objeto ajustados}$$

• **Cálculo del esfuerzo**

Para calcular el esfuerzo de desarrollo, se propone la ECUACIÓN 15, que es usada en el modelo COCOMO II, y que permite determinar, además, tasas de productividad, teniendo en cuenta la experiencia y capacidades del equipo de desarrollo de la aplicación.

$$Esfuerzo = \frac{POA}{PROD} \quad \text{ECUACIÓN 15. Cálculo del esfuerzo}$$

En la anterior ecuación, el esfuerzo tiene como unidad de medida personas/mes, y PROD indica la productividad del equipo de desarrollo, y toma los valores que se muestran en la tabla 13:

Tabla 13. Productividad del equipo. FUENTE: Elaboración propia.

<i>Experiencia y capacidades del equipo de desarrollo</i>	<i>Muy baja</i>	<i>Baja</i>	<i>Normal</i>	<i>Alta</i>	<i>Muy alta</i>
Valor de PROD	4	7	13	25	50

Las técnicas presentadas anteriormente tienen como ventaja la confiabilidad en los resultados si se tiene toda la información requerida, pero, no son aplicables a proyectos de TI en general, y sólo se limitan a proyectos de desarrollo software; además, necesitan gran cantidad de datos que aún no se tienen en fases tempranas del desarrollo, y trabajan sobre la base de una especificación de requisitos buena, es decir, no ambigua y bastante completa (Varas, 2002).

Luego de una rigurosa revisión de la literatura para el estudio de la problemática de la Gerencia Informática de Orbitel, se llegó a la conclusión de que las técnicas existentes no permiten estimar el esfuerzo de los proyectos a realizar antes de tener una completa especificación de requisitos, por lo tanto, se propone a continuación un nuevo método para estimar el esfuerzo en etapas tempranas.

6.9 UN NUEVO MÉTODO PARA CALCULAR EL ESFUERZO EN ETAPAS TEMPRANAS

Esta investigación tiene lugar en la gerencia informática de Orbitel S. A., la cual cuenta actualmente con una estructura conformada por dos direcciones y 11 equipos de trabajo. La *Dirección de Arquitectura y Soluciones Informáticas* está integrada por los equipos: Arquitectura e Integración (AEI), Business Intelligence (BI), Ventas y Servicio al Cliente (VSC), Sistemas Administrativos y Financieros (SAF), Producto, Facturación, Plataformas Afines a Red (PAR). La *Dirección de Infraestructura Informática y Atención a Usuario Final* está integrada por los equipos: Planeación y Consecución de Recursos (PCR), Prestación de Servicios (PS), Gestión de la Relación con el Cliente (GRC).

Cada uno de los equipos sigue un mapa de procesos bien establecido y trabaja bajo un esquema de autogestión que se rige por una política de hechos y datos en la cual cada procedimiento debe estar soportado y documentado. Por esto, el modelo para la estimación temprana de esfuerzo en proyectos de desarrollo de software cobra gran importancia en la definición de indicadores y métricas que facilitan la planeación y control de las actividades que se realizan.

Esta investigación toma como punto de partida la información de proyectos terminados, de los cuales existen datos históricos de esfuerzo. En conjunto con los analistas y directores de la gerencia informática y haciendo uso tanto de la experiencia, como de técnicas estadísticas se logra tipificar y caracterizar los proyectos, con el fin de lograr, primero, un modelo capaz de sugerir intervalos de esfuerzo en etapas tempranas para un nuevo proyecto, y segundo, una herramienta de simulación que permita predecir, dado el esfuerzo estimado para cada nuevo proyecto, el comportamiento de la capacidad y los niveles de sobreesfuerzo de los analistas, las direcciones y en general de la gerencia informática.

Para la creación de este modelo se desarrollaron las siguientes actividades: estudio y tratamiento de datos históricos, identificación de variables que afectan el esfuerzo para la creación de soluciones, caracterización de tipos de proyectos de acuerdo con las variables asociadas y finalmente, la construcción de una herramienta de simulación y pruebas.

A continuación se presenta el diagrama de flujo que describe de forma global el modelo para calcular el esfuerzo en etapas tempranas:

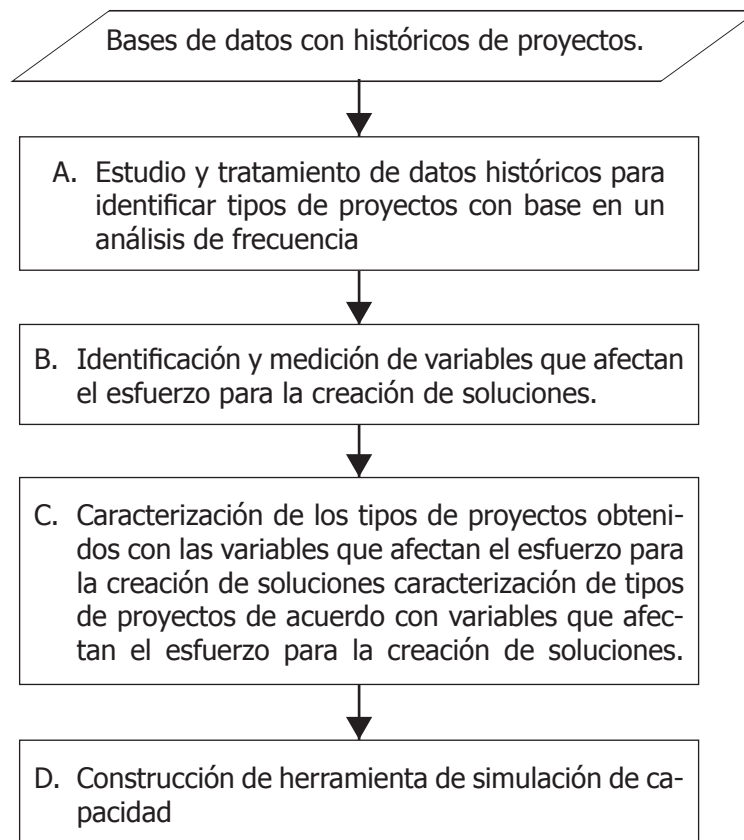


Figura 1. Diagrama de flujo con el procedimiento para la creación del modelo dinámico de estimación temprana. FUENTE: Elaboración propia.

A. Estudio y tratamiento de datos históricos

En esta actividad se hizo un estudio estadístico para determinar de qué tipo de distribución provenían los datos relacionados con el esfuerzo (horas-hombre) requerido en el desarrollo de proyectos, para luego dar una posible clasificación de proyectos.

El estudio se orientó a buscar la normalidad de los datos, o la forma de obtenerla, teniendo en cuenta que existe más información acerca del tratamiento de datos que siguen una distribución normal.

En la Gerencia Informática, los datos del esfuerzo se mueven en un rango bastante amplio de 0,25 a 15.620 horas-hombre. Por medio de un histograma de frecuencias (figura 2) y algunas pruebas de normalidad (Prueba de Shapiro-Wilk y prueba de Anderson-Darling), se pudo determinar que los datos no seguían una distribución normal.

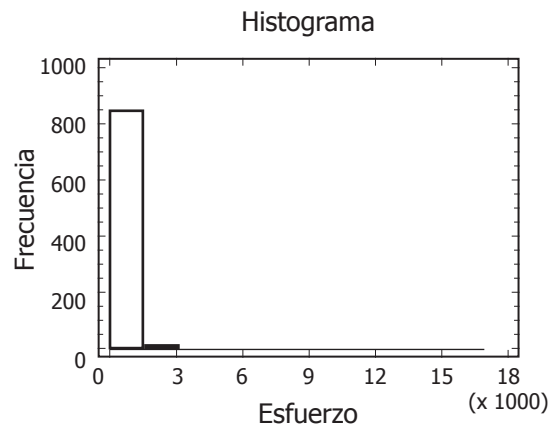


Figura 2. Histograma de frecuencia del esfuerzo (horas-hombre) requerido para el desarrollo de proyectos software. FUENTE: Elaboración propia.

Para ajustar los datos a una distribución normal, se aplicó logaritmo natural y se eliminaron los proyectos que tienen un esfuerzo menor de 5 horas-hombre y mayor de 994,858 horas-hombre. Posteriormente, usando test de bondad de ajuste, reincorporando los datos que habían sido excluidos, y haciendo otros procedimientos estadís-

ticamente válidos, se obtuvieron 13 intervalos tal como se muestra en la tabla 14:

Tabla 14. Clasificación de proyectos de acuerdo con su esfuerzo asociado.
FUENTE: Elaboración propia.

<i>Intervalo</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
T0	0,25	4,9998
T1	4,9998	7,2087
T2	7,2087	13,0771
T3	13,0771	19,9846
T4	19,9846	28,5604
T5	28,5604	39,6226
T6	39,6226	54,4967
T7	54,4967	75,6048
T8	75,6048	108,0485
T9	108,0485	165,1229
T10	165,1229	299,5406
T11	299,5406	994,8580
Tx	994,858	15620

La tabla 14 muestra la clasificación de proyectos asociados a la creación de soluciones en la Gerencia Informática de Orbitel de acuerdo con el esfuerzo requerido para su desarrollo.

El intervalo T0 corresponde a los proyectos que están entre 0,25 y 5 horas-esfuerzo. Los intervalos T1 a T11 fueron obtenidos con el test de bondad de ajuste, y, el intervalo TX corresponde a los proyectos que superan las 994,858 horas-hombre. Si bien los extremos de los intervalos obtenidos con los históricos disponibles son bastante distantes, el modelo creado y la herramienta de simulación permiten

que los intervalos se ajusten de manera dinámica a medida que se ingresan nuevos proyectos.

En apartados posteriores, los tipos de proyectos obtenidos serán caracterizados con variables obtenidas para tal fin.

B. Identificación y medición de variables que afectan el esfuerzo

En esta actividad se estableció un método para descubrir las variables, eventos y retardos que aumentan el esfuerzo en el proceso de creación de soluciones, incluyendo para cada una de ellas: *nombre, descripción, unidades de medida, clasificación de valores y comentarios*. Dichas variables se clasificaron en “Variables generales” y “Variables por equipo”. Las variables generales son aquellas que, después del análisis realizado, aplican para todos los equipos de la Gerencia, y las variables por equipo son variables que aplican a equipos particulares. A continuación se presentan algunas variables y sus atributos.

- Variables generales

Tabla 15. Algunas variables generales que afectan el esfuerzo para la creación de soluciones en la Gerencia Informática de Orbitel. FUENTE: Elaboración propia.

<i>Nombre</i>	<i>Descripción</i>	<i>Unidades de medida</i>
Sistemas de información y/o plataformas intervenidos	Cantidad y nombre de sistemas de información y/o plataformas que serán modificados o actualizados durante la creación de la solución	Número y nombre de los sistemas de información y/o plataformas
Áreas usuarias involucradas en la especificación de requisitos	Áreas usuarias que deben participar en la especificación de requisitos de la solución a crear.	Número de áreas usuarias
Conocimiento del negocio	Habilidades y conocimientos adquiridos por el analista con soluciones similares a la que se va a gestionar.	Nivel de conocimiento del negocio

Para la evaluación y medición de variables como “conocimiento del negocio”, “conocimiento de nuevas tecnologías” y “conocimiento técnico”, las cuales hacen parte del conjunto de variables generales, se construyó un método, el cual no es ampliado en este trabajo.

- Variables por equipo

Tabla 16. Algunas variables que afectan el esfuerzo para la creación de soluciones en la Gerencia Informática de Orbitel discriminadas por equipo.

FUENTE: Elaboración propia.

<i>Equipo</i>	<i>Nombre</i>	<i>Descripción</i>
BI	Impacto en la bodega de datos	Efecto producido por los cambios estructurales que se deben hacer en la bodega de datos para crear una solución.
	Tamaño de la ETL	Tamaño en la ETL, medido de acuerdo con la complejidad del proceso de extracción, transformación y carga de datos debido a la fuente y con la transformación de los datos.
PCR	Complejidad en la adquisición de hardware	Dificultad en la adquisición de hardware, medida de acuerdo con el número de proveedores existentes, con la disponibilidad del hardware en el mercado y con el proceso de selección y/o compra que se debe seguir
FAC	Planes y/o servicios	Número y tipo de planes y servicios que es necesario crear o modificar para construir la solución

El resultado de esta actividad fue utilizado para caracterizar los tipos de proyectos. La combinación de las variables asociadas a una nueva solución, permite determinar la complejidad de una solución en términos del esfuerzo requerido.

C. Caracterización de tipos de proyectos

Luego de tener los resultados de las actividades de identificación de tipos e identificación y medición de variables, se realizó una caracterización de los tipos de proyectos con la intervención de analistas y directores de la Gerencia de Informática de Orbitel. Para el estudio se tomó una muestra aleatoria de proyectos incluidos en cada uno de los intervalos de esfuerzo (tipos de proyectos) obtenidos con el análisis estadístico.

Calificación de variables					
Variables/ Proyectos		FACT- Series Req 126622	FACT-CambioReportes	FACT-Arreglo prepago	
Tipo proyecto		T0			
Sistemas de información y/o plataformas intervenidos	A				
	B				
Complejidad de cambios y parametrizaciones en sistemas de información y/o plataformas	A	Clasificación de valores de la variable			
	B				
Áreas usuarias involucradas en la especificación de requisitos	A				
	B	Nombre de la variable	Nombre del proyecto	Tipo de proyecto	
Esquema de contratación	A				
	B				

Figura 3. Plantilla de asociación de variables a tipos de proyectos.

FUENTE: Elaboración propia.

En la plantilla mostrada en la figura 3, los proyectos representan la muestra de proyectos seleccionada tomando como base el total de proyectos que cada equipo realizó desde enero del año 2003 hasta marzo del año 2005. Las *variables* obtenidas en la segunda actividad fueron asociadas a cada uno de los tipos de proyectos con base en la experiencia de los analistas de la Gerencia Informática y en la información recopilada de cada proyecto.

Los resultados obtenidos en esta actividad permiten que los analistas sólo necesiten indicar las variables que intervendrán en la nueva solución y el modelo las combinará hasta conseguir el tipo que más se ajusta al nuevo proyecto. Es importante anotar que el modelo permite la inclusión de nuevas variables y tiene la capacidad de refinarse dinámicamente con cada nuevo proyecto incluido en la base de datos.

D. Implementación de la aplicación

Luego de hacer el tratamiento estadístico de los datos y tener una clasificación de proyectos de acuerdo con las variables asociadas a cada tipo, fue necesario diseñar e implementar un algoritmo que le permitiera al analista conocer el tipo de proyecto a gestionar, luego de seleccionar las variables involucradas.

También fue necesario construir una base de datos para almacenar la clasificación de proyectos, las variables relacionadas, y otra información relevante.

Todo lo anterior se integró para obtener una aplicación orientada a la web que permite a los analistas monitorear su capacidad, con sólo ingresar los proyectos que desean gestionar.

A continuación se muestran algunas imágenes generadas por la aplicación y sus respectivos comentarios:

MODELO DE CAPACIDAD						
MODELO DE SIMULACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL RECURSO HUMANO						
SOLUCIONES	SIMULAR	CONFIGURACIÓN	AYUDA	ADMINISTRADOR	SALIR	

Universidad de Antioquia®

Figura 4. Barra de menús de la aplicación. FUENTE: Elaboración propia.

Los dos menús más relevantes de la aplicación son el menú “soluciones” y el menú “Simular”. El menú *SOLUCIONES* permite ingresar una nueva solución, asignar participación de un analista en una solución y modificar una solución existente.

En el menú *SIMULAR* se pueden obtener series de tiempo sobre la capacidad empleada de un analista, un equipo, una dirección, y la Gerencia Informática. Los resultados obtenidos se mostrarán en la sección de resultados.

Para ingresar una nueva solución o proyecto en el cual intervendrá un analista se utiliza la interfaz mostrada en la figura 5.

Ingresar una nueva Solución

Por favor ingrese los datos de la Solución

Tipo de Solución:	<input type="text" value="seleccione..."/>	<input type="text"/>	<input type="button" value="Limpiar"/>
Nombre:	<input type="text"/>	Nombre de la solución a desarrollar	
Fecha de inicio:	<input type="text"/>	Fecha de inicio de la solución	
Duración:	<input type="text"/>	(Semanas)	Número de semanas
Porcentaje Participación	<input type="text"/>	(1-100%)	Participación del analista en el desarrollo de la solución

Universidad de Antioquia®

Figura 5. Interfaz para ingreso de nuevas soluciones.

FUENTE: Elaboración propia.

En este formulario, el analista debe ingresar datos como: nombre del proyecto o solución, fecha de inicio, duración, porcentaje de participación y tipo de solución (intervalo de esfuerzo) en caso de conocerlo. Si se trata de una estimación temprana, la herramienta de simulación permite calcular el tipo de proyecto de acuerdo con las variables involucradas, sean generales o pertenecientes a un equipo en particular (figura 6).

El formulario mostrado en la figura anterior permite señalar cuáles variables (con sus respectivos niveles) están presentes en la solución que gestionará el analista; luego, la herramienta de simulación se encarga de indicar en qué nivel de la clasificación se

Calcular el tipo de la Solución			
Nombre de la variable	Niveles de la variable (siendo 1 el más bajo y 3 el más alto)		
Sistemas de información y/o plataformas intervenidos	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3
Complejidad de cambios y parametrizaciones en sistemas de información y/o plataformas	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3
Áreas usuarias involucradas en la especificación de requisitos	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3
Esquema de contratación	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3
Integridad de los requisitos	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3
Adopción de una nueva tecnología	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3
Conocimiento del negocio	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3
Conocimiento técnico del negocio	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3
Adaptación a nuevas tecnologías	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3
<input type="button" value="Calcular"/>		<input type="button" value="Regresar"/>	

Universidad de Antioquia®

Figura 6. Herramienta para calcular el tipo de solución.

FUENTE: Elaboración propia.

encuentra una solución en la que intervienen las variables ya señaladas por el analista.

6.10 RESULTADOS DEL “MODELO DE CAPACIDAD”

En la actualidad, el resultado de este proyecto de investigación aplicada es un modelo que le permite a los analistas de la Gerencia Informática no solamente monitorear su capacidad y determinar cuándo están en situación de sobre-esfuerzo, sino que también permite hacer estimaciones tempranas con base en históricos y experiencias de proyectos similares.

La interfaz del modelo está diseñada de manera que si la capacidad sobrepasa el 100%, al simular algún mes, se presentará una señal de alerta, buscando que el analista ajuste su capacidad y no entre en condiciones de sobre-esfuerzo (figura 7). La alerta seguirá mostrándose hasta que el analista haga los ajustes necesarios.

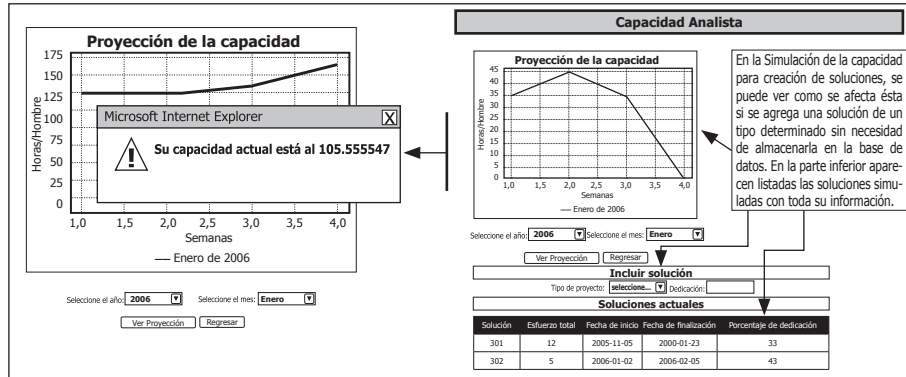


Figura 7. Interfaz gráfica del modelo de capacidad. FUENTE: Elaboración propia.

Además, en la simulación es posible observar el comportamiento de la capacidad al agregar una solución de un tipo determinado, sin necesidad de almacenar esta solución en la base de datos. Como lo muestra la figura 7, en la parte inferior aparecerá un listado de las soluciones asociadas al analista.

El software permite también mostrar gráficos del comportamiento de la capacidad por equipo, por Dirección, y de toda la Gerencia Informática, informando siempre si se ha entrado en condición de sobre-esfuerzo.

La herramienta está enfocada a la predicción del esfuerzo requerido para los proyectos, mientras más alimentada esté su base de conocimiento en cuanto a históricos de proyectos y variables relacionadas, más acertados serán los resultados obtenidos.

6.11 CONCLUSIONES

Luego de la realización de este proyecto se pueden plantear las siguientes conclusiones:

Las técnicas de estimación del esfuerzo, que se fundamentan en el tamaño del proyecto a desarrollar, requieren gran cantidad de información para arrojar resultados confiables, y en la etapa de definición de requisitos no se cuenta con todos los parámetros para hacer

uso de ellas. Por esta razón, durante esta investigación se construyó un nuevo método que calcula el tamaño del producto a desarrollar fundamentado en las variables que intervienen, y con esto garantiza su uso en etapas tempranas.

Considerando que las variables identificadas en esta investigación son frecuentes para cualquier gerencia informática, debido a que se establecieron para los procesos sugeridos por la metodología ITIL y que la base de datos con históricos de proyectos puede crecer de manera dinámica, el modelo creado es una herramienta que puede ser usada para hacer estimaciones y experimentaciones considerando las siguientes condiciones de desarrollo de proyectos de software y control de la capacidad:

Cuando se requiera hacer una estimación con una especificación de requisitos insuficiente.

Cuando la información disponible en bases de datos con históricos de proyectos sea incompleta.

El modelo propuesto usa un número de parámetros, variables y funciones que caracterizan los proyectos y el entorno de una Gerencia Informática. Para realizar una estimación temprana de un nuevo proyecto, es necesario seleccionar las variables que caracterizan la nueva solución, una vez se cuenta con el grupo de variables que caracterizan la nueva solución, el modelo puede además de realizar la estimación temprana de esfuerzo, planear y simular la capacidad del recurso humano.

6.12 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRECHT, AJ. (1979). *Measuring Application Development Productivity*. Proceedings SHARE/GUIDE IBM Applications Development Symposium, Monterrey, CA., Oct. 14-17, 1979.

ALBRECHT, Allan J., GAFFNEY, John E. (1983). *Software Function, Source Lines of Code, and Development Effort Prediction: A Software Science Validation*. IEEE Transactions on Software Engineering, Vol. SE-9, no. 6, pp. 639-648

- ARORA, A. y GAMBARDELLA, A. (2005). From Underdogs to Tigers The Rise and Growth of the Software Industry in Brazil, China, India, Ireland, and Israel. <http://www.oup.co.uk/pdf/0-19-927560-2.pdf>
- BARBACCI, J. (1985). *The software engineering institute: bridging practice and potential*. IEEE software. Pág. 4-21.
- JONES, Caper (1986). Programming Productivity. McGraw-Hill, 1986.
- JONES, Caper. (1996). *Activity-based software costing*, Computer, May 1996, p. 103-104.
- JORGENSEN, M., SJOBERG, D. (2001). *Impact of effort estimates on software project work*. Information and software technology. 43: 939-948.
- PERALTA, M. (2004). *Estimación del esfuerzo basada en casos de uso*. Reportes Técnicos en Ingeniería de Software. Buenos Aires- Argentina. 6 (1): 1-16.
- RIBU, K. (2001) *Estimating Object-Oriented Software Projects with Use Cases*. Tesis de master. Universidad de Oslo. Disponible en: <http://heim.ifi.uio.no/~kribu/oppgave.pdf>. Acceso: Octubre 21 de 2005
- SÁNCHEZ, F. (1999). *Medida del tamaño funcional de aplicaciones software*. Universidad de Castilla- La Mancha. 1999
- SERGE, et al. (1997) OLIGNY, S., BOURQUE, O. & ABRAN A. *An Empirical Assessment of Project Duration Models in Software Engineering*. Proceedings of the Eighth European Software Control and Metrics Conference. 1997
- TORO, M. et al. (2002). *Marco dinámico integrado para la mejora de los procesos software*. 2002.
- VARAS, M. (2002). *Una Experiencia con la estimación del tamaño del software*. <http://www.inf.udec.cl/revista/edicion1/mvaras.htm>.
- ZHENYOU, J. (2004) *Reduced models of software development effort estimation*. Department of electrical and computer engineering. University of Alberta. Edmonton, Alberta. 2004.

CAPÍTULO 7

PROCESAMIENTO DIGITAL DE VÍDEO UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE MATLAB®

*Jaime Alberto Echeverri Arias¹, Jairo Miguel Vergara Díaz²,
Luis Eduardo Naspiran Herrera³, Luis Fernando Morales⁴*

7.1 INTRODUCCIÓN

La visión por computador es la disciplina que tiene como objetivo proveer del sentido de la vista a robots para que estos puedan interactuar de forma más eficiente en ambientes complejos. El mundo en que los robots interactúan es tridimensional y dinámico. Este mundo es percibido a través de cámaras digitales las cuales modelan el mundo real utilizando los principios de la geometría. Una característica de los principios fundamentales de los sistemas presentes y futuros se basa en la comprensión espacial del mundo que percibe el robot. El dominio de la relación espacial, medición del espacio tridimensional, la propagación de la luz a través de una lente y el modelo matemático de formas y tamaños de objetos son los verdaderos fundamentos de esta disciplina. Los dispositivos tecnológicos pueden cambiar, pero para un científico que trabaja en la visión, el éxito sólo será alcanzado a través de la profunda comprensión de los principios de Euclides.

¹ M.Sc. en Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia, Profesor de tiempo completo, programa de Ingeniería de Sistemas, Universidad de Medellín.

² M.Sc. en Ingeniería Informática, profesor de tiempo completo, programa de Ingeniería de Sistemas, Universidad de Medellín.

³ M.Sc. Matemáticas Universidad Nacional de Colombia, profesor tiempo completo ITM.

⁴ Estudiante Ingeniería de Sistemas, Auxiliar de Investigación, Universidad de Medellín.

7.2 ANÁLISIS DEL PROBLEMA

La habilidad de manipular los parámetros visuales de una forma controlada, tanto acción como reacción, llevó a la aparición del concepto de visión activa, un concepto que condujo a la idea de visión con propósito, una aproximación que no considera la visión de una forma aislada sino como parte de un sistema complejo que interactúa de forma específica con el mundo (Viéville, 1997). Es importante notar que en la actualidad el término visión activa se usa tanto para definir las operaciones activas sobre el mundo con el objetivo de cambiar las imágenes que se están captando como para mejorar las posibilidades de éxito de una tarea, como en el sentido de procesos autónomos que explotan la coherencia de una sucesión de imágenes para realizar un seguimiento en el tiempo, fiable y eficiente, de los aspectos de interés (Blake and Yuille, 1993).

Para mejorar la calidad visual, un objetivo claro es la eliminación del ruido en las imágenes captadas y/o transmitidas. Este objetivo se aborda inicialmente con la utilización de filtros de medias, filtrado en el dominio de las frecuencias y, con posterioridad, filtrado no lineal, la literatura en estos temas es enorme, ver, por ejemplo, Pratt (1991) y Rosenfeld and Kak (1982). Obviamente, la eliminación del ruido es un problema típico de procesamiento de imágenes que ha ido evolucionando en la aplicación a otros muchos campos. Las técnicas mencionadas para eliminar el ruido se han mantenido y evolucionado, y han aparecido también nuevas aproximaciones. El uso de modelos piramidales (Rock, 1984), el trabajo de Cai (1990) son ejemplos de modelos de alisamiento por difusión en problemas de procesamiento para el uso de representaciones espacio-escala en procesamiento de imágenes y las descomposiciones basadas en wavelets (Mallat, 1989), sin olvidar el desarrollo de técnicas de eliminación de ruido aplicadas a imágenes en color (Gauch, 1998). Metodologías que no han sido aplicadas solo a la eliminación de ruido.

Si el procesamiento es necesario, una vez que este ha sido realizado se puede abordar el problema de análisis. Lo que podríamos lla-

mar una teoría general para el análisis de imágenes fue de aparición lenta, ya que inicialmente los sistemas dedicados a ello fueron diseñados para tratar con imágenes específicas y obtener descripciones solo para esos dominios. Entre las primeras aplicaciones del análisis de imágenes podemos citar:

– *Reconocimiento de caracteres.* Inicialmente se pensó en una forma de no tener que introducir por teclado datos de los que ya se disponía en forma escrita.

– *Microscopía.* Enormes cantidades de imágenes médicas eran, y son, examinadas por especialistas con el fin de, entre otros, clasificar cromosomas, contar células, detectar patologías.

– *Radiología.* El uso, en los últimos años, de técnicas tridimensionales para el análisis de imágenes médicas ha sido un gran logro dentro del campo del procesamiento y análisis de imágenes (Roux and Coatrieux, 1997). Este trabajo estuvo, sin lugar a duda, precedido y propiciado por los trabajos iniciados a mediados de los años sesenta sobre la automatización del análisis en imágenes radiológicas.

– *Teledetección.* Desde los años sesenta una enorme cantidad de imágenes de la Tierra y la atmósfera han sido proporcionadas por satélites; no hace falta insistir en el desarrollo de técnicas automáticas de extracción y análisis de la información presente en dichas imágenes.

Se han nombrado sólo algunas de las áreas de posible aplicación del análisis de imágenes. No obstante, el campo de aplicación es enorme pudiendo incluir el reconocimiento de huellas dactilares, reconocimiento de caras, búsqueda de imágenes en bases de datos, entre otros.

En Matlab® se tiene la herramienta “Image Acquisition Toolbox”, la cual provee funciones de adquisición de imágenes y vídeo directamente desde Matlab/Simulink. La herramienta permite detección automática de hardware, configuración de propiedades del

hardware y enlace con los drivers de los múltiples proveedores de cámaras. Existe otro toolbox que complementa su funcionalidad y se obtiene de forma separada; el “Image Proccesing Toolbox”, entre los dos es posible implementar aplicaciones de visión artificial con funcionalidades especiales. El sistema de adquisición de imágenes y/o vídeo en el helicóptero del Proyecto "Colibrí" dará la posibilidad de poder abordar aplicaciones como la fotografía aérea y la vigilancia.

Durante la última década, se han producido enormes avances en la investigación del reconocimiento visual, aunque subsisten varias dificultades que limitan una utilización amplia de las aplicaciones. Entre ellas están: el costo computacional que impide el uso en tiempo real o en dispositivos móviles, los enormes requerimientos de adiestramiento y la poca generalidad de algunos sistemas de seguimiento basados en color.

Existe en la actualidad una creciente demanda del uso de las técnicas del procesamiento de vídeo digital las cuales abarcan un extenso rango de aplicaciones industriales, comerciales y científicas, entre ellas detección y seguimiento de objetos, análisis del comportamiento del movimiento, sistemas de alerta, control de calidad, etc.

La detección de objetos en movimiento sobre un vídeo presenta dificultades por varias razones: deben tenerse en cuenta posibles movimientos de la cámara, cambios en la iluminación, objetos tales como árboles que ondulan, objetos que se detienen y reinician su movimiento como por ejemplo autos en un semáforo, etc. Una vez identificados los objetos que se mueven, su seguimiento tampoco es simple, ya que los objetos pueden ocultarse o entrar y salir del frame debido al movimiento de la cámara.

La detección y el seguimiento se realizan clásicamente mediante las operaciones de sustracción del fondo (background subtraction) y extracción de regiones salientes (salient region extraction). Los métodos de sustracción del fondo han sido ampliamente estudiados y básicamente son:

Considerar el fondo como el promedio o media de los n frames previos, con un algoritmo de validación de los salientes

(foreground) que primero construye una máscara del foreground usando un filtro de Kalman de baja adaptación y luego valida individualmente los píxeles del foreground por un simple modelo de objeto móvil construido a partir de las estadísticas tanto del fondo como del foreground y también de la diferencia de frames, otros autores proponen un método general el cual combina informaciones estadísticas con el conocimiento del nivel del objeto de los objetos móviles, objetos aparentes y sombras adquiridos en el procesamiento de frames previos. Los píxeles que pertenecen a objetos móviles, fantasmas y sombras se procesan de maneras diferentes con el fin de suministrar una actualización selectiva basada en los objetos; es un método rápido pero de gran consumo de memoria.

Considerar el fondo como el promedio ponderado $B_{i+1} = \alpha \cdot F_i + (1 - \alpha) \cdot B_i$, donde B representa el fondo, F el frame y típicamente $\alpha = 0.05$. El modelo de fondo en cada localización de píxel se basa en la *historia reciente* del píxel, la cual puede consistir únicamente de los n frames previos o un promedio ponderado donde los frames recientes pesan más. En resumen, el modelo de fondo se calcula como un promedio cronológico de la historia del píxel aunque sin utilizar ninguna correlación espacial entre las diferentes vecindades de píxeles.

Selectividad: En cada nuevo frame cada píxel se clasifica como fondo (background) o no-fondo (foreground) y se retroalimenta esta clasificación de modo que si un píxel se clasifica como foreground se elimina del modelo del fondo.

Estos métodos básicos tienen limitaciones, por ejemplo no proveen una manera explícita de elegir un umbral y principalmente que no pueden manejar distribuciones multimodales del fondo. Otros métodos como los Wren y Azarbayejani (1996) utilizan promedios gaussianos en los que se ajusta una distribución gaussiana sobre el histograma, otros utilizan una mezcla de distribuciones gaussianas y una aproximación en línea para actualizar el modelo. Las distribuciones gaussianas del modelo son luego evaluadas para determi-

nar cuáles son más adecuadas o resultan de un proceso del fondo. Cada píxel se clasifica dependiendo de si la distribución Gaussiana que representa, es considerada parte del modelo del fondo (Chris, 1999). Otras técnicas utilizan la sustracción del fondo basado en un modelamiento estadístico no paramétrico del proceso de los píxeles. El modelo guarda una muestra de los valores de intensidad para cada píxel en la imagen y utiliza esta muestra para estimar la función de densidad de probabilidad de la intensidad del píxel. La función de densidad se estima usando una técnica de estimación del kernel. Como este enfoque es muy general el modelo puede aproximar cualquier distribución independientemente de la forma de la distribución subyacente. Finalmente, también se ha utilizado la estimación basada en mean-shift.

En la extracción de regiones salientes el trabajo clásico es el algoritmo propuesto por Kadir y Brady (2003) y la técnica de puntos clave SIFT de Lowe (2004) .

7.3 DESARROLLOS PRÁCTICOS

Las prácticas que se muestran a continuación fueron diseñadas pensando en las diferentes fases que tienen que ver con la implementación en el UAV del Proyecto "Colibrí", las pruebas fueron realizadas con el Blockset vídeo and Image Processing Blockset de Matlab® versión R2007A.

7.4 CAPTURA DE VÍDEOS E IMÁGENES

Este primer modelo muestra la captura de vídeos almacenados; igualmente es aplicable a imágenes. Se tiene en cuenta que un vídeo es una serie de imágenes proyectadas en el tiempo. La imagen muestra cómo es posible separar los componentes primarios de la imagen (RGB) y cómo se pueden trabajar por separado cada una de las matrices que los representan.

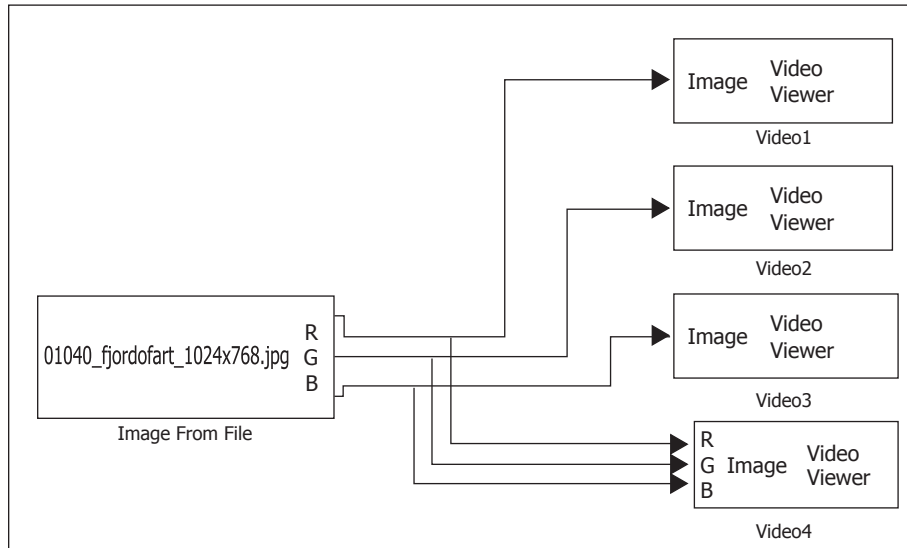


Figura 1: Diagrama de bloques separacion de video por colores.
FUENTE: Elaboracion propia

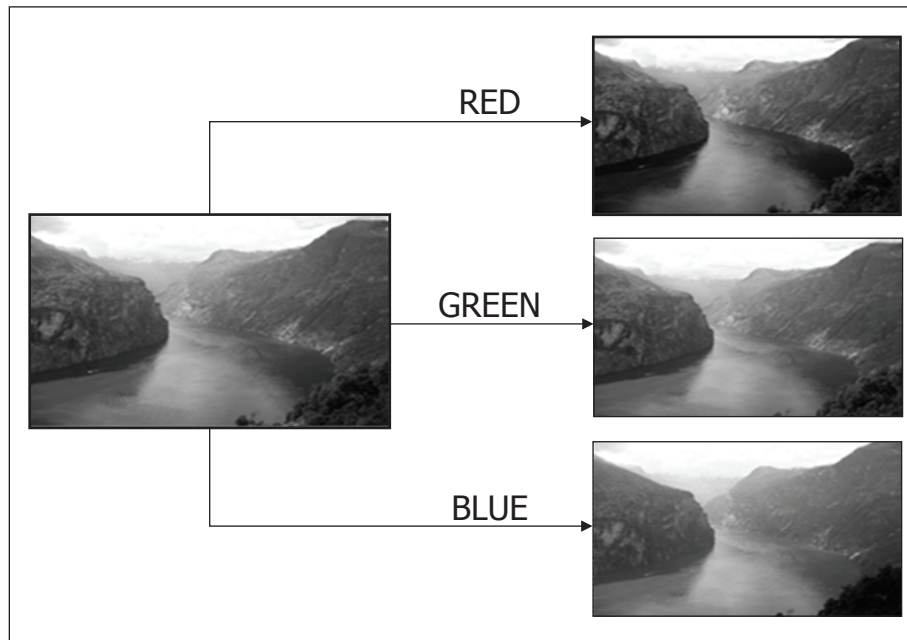


Figura 2: Componentes primarios de un video. FUENTE: Elaboracion propia

7.5 DIVISIÓN POR TIEMPO

El siguiente modelo captura un video y divide este en varios archivos que permiten trabajar separadamente con cada uno de ellos, de esta forma se puede destacar las características de cada uno según el tiempo y las necesidades del usuario.

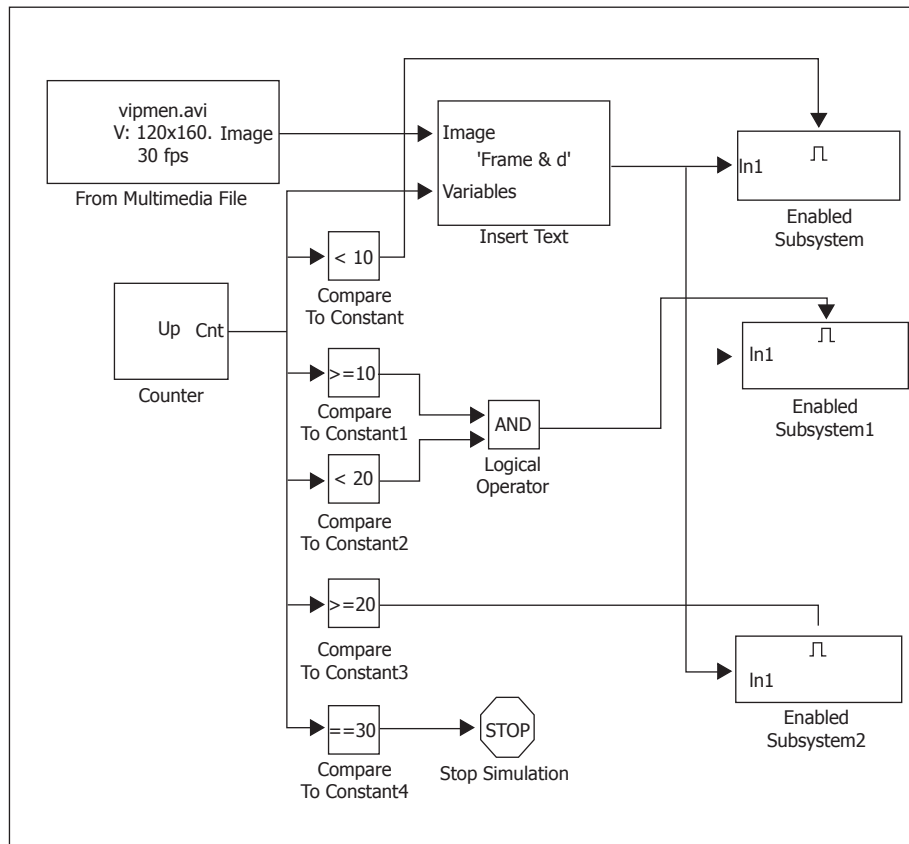


Figura 3: Separación de videos. FUENTE: Elaboracion propia

En el diagrama de bloques se pueden apreciar las constantes que se comparan; en la primera se observa que para valores inferiores a 10 segundos el video almacenado se llamará output1, este será el primer video de salida; igualmente se realiza el proceso para

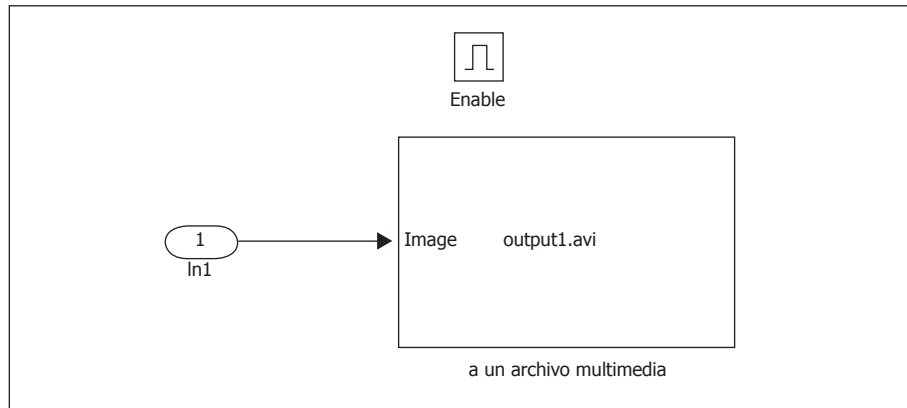


Figura 4: Primer sistema. FUENTE: Elaboracion propia

almacenar los demás apartes del vídeo. La siguiente Figura presenta el detalle del subsistema 1.

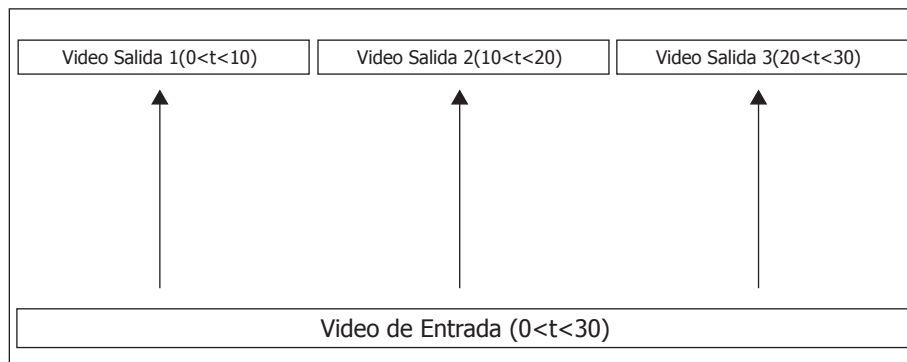


Figura 5: Separación temporal de un vídeo. FUENTE: Elaboracion propia

7.6 OPERACIONES GEOMÉTRICAS

Una de las características interesantes del procesamiento digital de vídeo tiene que ver con las transformaciones geométricas que se puedan realizar sobre el vídeo, como lo son rotaciones y traslaciones. En las figuras que se siguen podemos visualizar los resultados de rotar, ampliar y trasladar un vídeo.



Figura 6: Aplicación algoritmos transformaciones geométricas.
FUENTE: Elaboracion propia

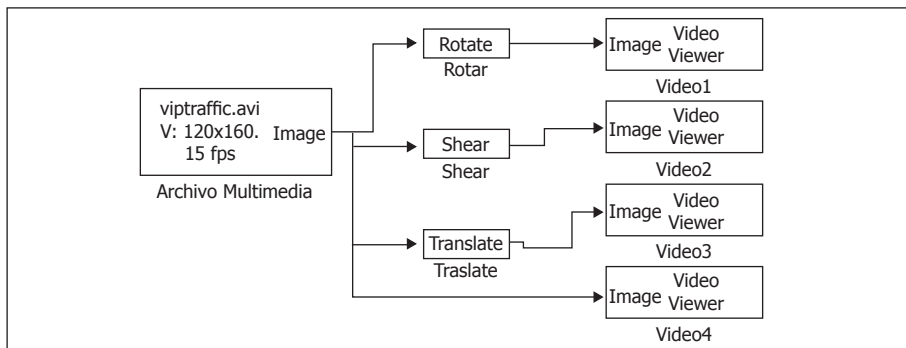


Figura 7: Diagrama de bloques de transformaciones geométricas.
FUENTE: Elaboracion propia.

7.7 OPERACIONES DE REALCE SOBRE UN VÍDEO

Con el fin de realizar segmentaciones y otras operaciones que faciliten la extracción de características sobre el vídeo, se utilizan frecuente-

mente operaciones para extracción de bordes, la binarización, operaciones de dilatación, erosión, etc. Las siguientes figuras presentan imágenes que representan la detección de bordes y la binarización de videos. En la figura 8 se muestra el diagrama de bloques, y en la figura 9, los resultados de la aplicación de estas técnicas sobre el video.

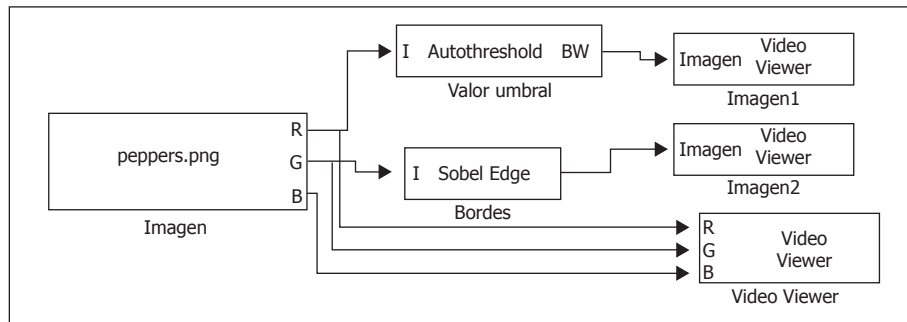


Figura 8: Diagrama de bloques. Operaciones de binarizado y detección de bordes. FUENTE: Elaboración propia

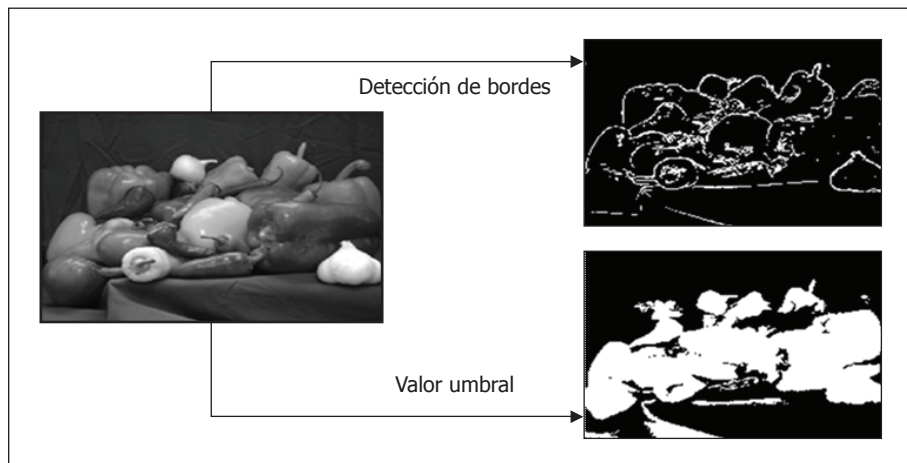


Figura 9: Detección de bordes y binarización. FUENTE: Elaboración propia.

7.8 CONCLUSIONES

El uso del software de Matlab® y sus diferentes toolbox ofrecen una gama amplia y diversa para el desarrollo y la implementación del

procesamiento digital de vídeo, el cual puede ser aplicado a diversos escenarios u aplicaciones. Con los resultados obtenidos hasta ahora se puede afirmar que el procesamiento digital de vídeo en el UAV puede ser un objetivo alcanzable.

7.9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIEZAD D. J., *Integrated Navigation and Guidance Systems*, AIAA Education Series, 1999.

BLAKE, A. and YUILLE, A. eds., *Active vision*, The MIT Press, 1993

CAI, L. D., *Scale-based surface understanding using diffusion smoothing*, PhD Thesis, Department of Artificial Intelligence, University of Edinburgh, 1990

Colibrí, <http://www.control-systems.net/colibri/>

CHOW, Z-H., JONES, J. P. and SINGH, M., *Foundation of medical imaging*, John Wiley and Sons, 1993

CROSSBOW TECHNOLOGY

<http://www.xbow.com/Products/productsdetails.aspx?sid=133>

GAUCH, J. M. *Noise removal and contrast enhancement*, en *The Colour Image Processing Handbook*, Sangwine S.J. and Horne, R.E.N. eds., Chapman and Hall, 1998

GAVRILETS, V. *Autonomous Aerobatic Maneuvering of Miniature Helicopters*, Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2003

HATLEY D. J., PIRBHAI I. A. *Strategies for Real-Time System Specification*, Dorset House Publishing Co, 1988

HELFRICK, A. *Principles of Avionics*, Avionics Communications, 2002

LINDBERG, T. *Scale-space for discrete signal*, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol 12, no 3, 234-254, 1990

MALLAT, S. G. *A theory of multi-resolution image processing: the wavelet representation*. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 11, no6, 674-693, 1989

- MATLAB and Simulink, Mathworks, <http://www.mathworks.com>
- MYUNGSOO, J. *State Estimation via Sensor Modeling for Helicopter Control using and Indirect Kalman Filter*, Proceedings IEEE International Conference, 1999.
- PRATT, W. *Digital Image Processing*. Wiley-Interscience, 1991
- ROCK, I. *Perception*, Scientific American Library, 1984
- ROGERS, R. *Applied Mathematics in Integrated Navigation Systems*, Education Series AIAA, 2000
- ROSENFELD, A., KAK, A. C. *Digital Picture Processing (V.I y II)*. Academic Press, 1982
- ROUX, C., and COATRIEUX, J. *Contemporary perspectives in three dimensional biomedical Imaging*, Ois Press 1997
- SÁNCHEZ, E. N., BECERRA, H. M., VÉLEZ, C. M., *Combining fuzzy and PID control for an unmanned helicopter*, The 2005 North American Fuzzy Information Processing Society Annual Conference, Ann Arbor, Michigan, USA, ISBN 0780391888, June 22-25, pp. 235-240, 2005.
- SARIPALLI, S., SUKHATME, G. S., MONTGOMERY, J. F. *An Experimental Study of the Autonomous Helicopter Landing Problem*. Proceedings of the International Symposium on Experimental Robotics. Sant'Angelo d'Ischia, Italia, 2002.
- VÉLEZ, C. M., AGUDELO, A., ÁLVAREZ, J. *Modeling, Simulation and Rapid Prototyping of an Unmanned Mini-Helicopter*, AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit, Keystone, Colorado, 2006.
- VÉLEZ, C. M., AGUDELO, A. *Control and Parameter Estimation of a Mini-Helicopter Robot Using Rapid Prototyping Tools*, WSEAS Trans. on Systems, Vol. 5, No. 9, ISSN 11092777, pp. 2250-2256, 2006
- VÉLEZ, C. M., AGUDELO, A. *Multirate control of an unmanned aerial vehicle*, WSEAS Trans. on Circuits and Systems, Vol. 4, No. 11, ISSN 11092734, pp. 1628-1634, 2005
- VÉLEZ, C. M., AGUDELO, A., *Simulation and multirate control of a mini-helicopter robot*, 5th WSEAS International Conference on Wavlet Analysis and Multirate Systems (WAMUS 2005), Sofia, ISBN 960-8457-36-X, October 27-29, 2005

- WITKIN, A. P. Scale space filtering, Proc 8th Int Conf. on artificial Intelligence IJCAI-83, Karsruege, 1019-1022, 1983
- ZEIGLER B. P., PRAEHOFER, K., KIM, T. G. *Theory of modeling and simulation*. 2nd ed. Academic Press. New York, 2000.
- C. Wren, A. Azarbayejani, T. Darrell, A. Pentland. *Pfinder: real-time tracking of the human body*. *fg*, p. 51, 2nd International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FG '96), 1996
- Chris Stauffer. *Adaptive background mixture models for real-time tracking*, *Proceedings IEEE*. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 246-252, 1999
- Kadir, T. Brady, M. *Scale Saliency: a novel approach to salient feature and scale selection*. Visual Information Engineering, 2003. VIE 2003. International Conference on Publication Date: 7-9 July 2003.
- LOWE, D. *Distinctive image features from scale-invariant keypoints*. International Journal of Computer Vision 60 (2004)

CAPÍTULO 8

FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO A LA ASIMILACIÓN ERP

Gladis Cecilia Villegas (Ph.D.)¹

Lillyana María Giraldo (Magíster)²

8.1 INTRODUCCIÓN

El ERP es una forma de hacer negocios, que se está popularizando mundialmente al punto de convertirse en requisito para participar en cadenas productivas. Este trabajo presenta un resultado parcial de la investigación en curso: “Proceso de adopción de soluciones, ERP (Enterprise Resource Planning) -en empresas colombianas (–un estudio comparativo de caso-)” llevada a cabo por las investigadoras de la Universidad de Medellín, Lillyana María Giraldo y Gladis Cecilia Villegas, adscritas a las facultades de Ingeniería y Ciencias Económicas y Administrativas, respectivamente.

El resultado es un listado de factores críticos de éxito para la culminación exitosa de un proyecto de adopción de una solución ERP (Sistemas de Planeación de Recursos Empresariales). Este listado fue inferido de la revisión bibliográfica y del estudio comparativo de casos de este tipo en empresas colombianas. La metodología empleada fue la entrevista a actores clave.

La presentación se organizó en el siguiente orden: definición de un sistema ERP, somera discusión del análisis de la industria de estas soluciones, comparación de las funcionalidades de los dos productos

¹ Gladis Cecilia Villegas es docente investigadora adscrita a la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas de la Universidad de Medellín.

² Docente investigadora adscrita a la Facultad de Ingenierías de la Universidad de Medellín.

de los proveedores líderes (SAP AG y ORACLE Corporation), revisión de las justificaciones de inversión, efectos positivos y negativos esperados y no esperados de estos proyectos y, finalmente, presentación del listado de factores críticos inferidos de la investigación.

8.2 DEFINICIÓN

Un sistema de planeación de recursos empresariales (ERP, por sus siglas en inglés), también llamado Sistema Empresarial o sistemas integrados, es una base de datos a la que van a dar y desde la que se consultan todos los eventos relacionados con las transacciones de negocio de una empresa.

El sistema está conformado por partes o módulos que pueden adquirirse a conveniencia del comprador y que se especializan en apoyar funciones críticas de negocio, tales como manufactura, mercadeo, cadena de abastecimiento, finanzas y recursos humanos. Existe un cierto grado de personalización del producto propiciado por la parametrización de la herramienta.

Otra definición de los autores Laudon y Laudon (2004) afirman que los sistemas ERP reúnen datos provenientes de diversos procesos (manufactura, finanzas y contabilidad, marketing y ventas y recursos humanos) y los almacenan en un solo y amplio depósito donde los pueden utilizar otras partes de la empresa.

La funcionalidad del ERP es la de un sistema diseñado para el registro de transacciones. Ello implica que es intensivo en el registro y reporte de datos. Quien desee dar una mirada inteligente a los registros deberá dotarse de herramientas de interpretación y análisis contenidas en soluciones de inteligencia de negocios (*BI*, por sus siglas en inglés).

8.3 ANÁLISIS INDUSTRIAL

El mercado de soluciones empresariales (ERP) funciona como un oligopolio con dos grandes jugadores en el mundo: SAP AG. (empresa alemana) y ORACLE Corporation. (empresa estadounidense). Los

demás jugadores aunque no menos importantes, si bien, tienen un porcentaje del mercado de estos paquetes de software integrado son tan representativos en comparación con los dos titanes de la industria. La competencia en este mercado se da por la especialización en satisfacer las necesidades y particularidades de ciertas industrias cliente y por el volumen de ventas.

Como en todo oligopolio, el poder de los proveedores es muy superior al de los compradores. Varias son las situaciones que debilitan la capacidad negociadora de los clientes:

El sistema, una vez instalado, se convierte en la espina dorsal de la operación del negocio. No se desconecta una espina dorsal sin matar al paciente. Una vez puesto en marcha, es extremadamente improbable y decididamente problemático el desactivar un ERP.

Periódicamente las empresas vendedoras liberan nuevas versiones del producto y sus clientes se ven forzadas a adquirirlas, so pena de perder el apoyo técnico y caer en la obsolescencia de su inversión.

Las actualizaciones, aunque no tan complejas como la adopción inicial, demandan la atención de la organización como cualquier otro proyecto tecnológico. Si el proceso ocurre cada dos años en promedio, es posible que la implantación anterior no haya tenido tiempo de terminar o de estabilizarse, ocasionando, en su conjunto, una perturbación organizacional superior a la esperada.

En cuanto a las barreras de entrada al negocio, son altas no sólo por las inversiones necesarias para competir con soluciones que se han convertido en estándares de la industria, sino por la obligada fidelidad de los compradores, lo que convierte la participación de mercado en un activo privado del proveedor.

Son productos sustitutos todos los que ofrecen integrar funciones de negocio, en la empresa, o entre empresas. También aquellos que permiten extraer información de varios sistemas y presentarla como respuesta a una pregunta del usuario (alternativa que integra la información, respetando la independencia de las estructuras subyacentes).

De otro lado, para los gobiernos, el ERP se ha posicionado frente a la comunidad como una herramienta de avanzada tecnológica cuyos efectos hacen competitivas a las empresas. Los gobiernos del mundo, representados en sus unidades de promoción a la innovación tecnológica, ven en el apoyo a iniciativas de inversión en este software, un cumplimiento adecuado a su misión. Ello quiere decir que la herramienta se ha “institucionalizado” o, en otras palabras, ha adquirido una legitimidad en el imaginario gubernamental como un medio adecuado para la promoción al mejoramiento industrial.

8.4 COMPARACIÓN DE LAS FUNCIONALIDADES DE LOS DOS PRODUCTOS LÍDER (SAP AG Y ORACLE CORPORATION)

La realidad es que el mercado mundial de los ERP está dominado en la actualidad por los cuatro productos de sistemas de información integrados; estos son: SAP AG, ORACLE Corporation, PeopleSoft y JD. Edwards. Entre ellos se reparten alrededor del 50% del mercado de las grandes empresas en el ámbito mundial. Sin embargo, la reciente negociación de la compra de JD. Edwards por parte de PeopleSoft y la más reciente negociación de la compra de ambos por parte de ORACLE Corporation cambió las reglas del juego para estos cuatro poderosos competidores, y dejó en claro que por el momento la batalla será entre los dos grandes colosos de los ERP: SAP AG y ORACLE Corporation, cada uno de ellos con diferentes ventajas sobre sus aplicaciones y funcionalidades del producto. Es pues un encuentro entre dos colosos en la arena de la industria del software en mundo y con productos altamente costosos.

En este sentido, el reto de estos dos grandes proveedores de paquetes de software integrado es el poder mantenerse como líderes de este mercado, y para mantenerse deberán ofrecer no solo el sistemas de planificación de recursos empresariales que sean más especializados en sectores de la industria o verticales, sino también ofrecer nuevos productos que complementen el ERP actual y a la vez provean un me-

mejor servicio de disponibilidad de información al interior y al exterior de las organizaciones. Soportando no solo los procesos principales del negocio, sino también todos los procesos estratégicos, gerenciales y de toma de decisiones desde la organización, adicionalmente el objetivo último es la de buscar la optimización de la red entera de empresas, pasando las fronteras de proveedores y de los clientes y buscando la integración de sus procesos. . Estos nuevos productos que ofrecen los proveedores de ERP son conocidos como *ERP-Extended* o ERP II.

Después de conocer los anteriores movimientos de mercado que estos dos competidores han realizado como parte de sus estrategias de permanecer y ser más competitivos en un mercado mundial, donde los líderes obtienen ganancias anuales en cifras alrededor de billones de dólares, aún, según los expertos, SAP AG es el líder del mercado de las ERP, pues el volumen de productos vendidos y usados por los grandes compañías del mundo de SAP AG rebasa al de ORACLE Corporation.

Es verdad que SAP AG es el líder en el mercado actual con un producto que dispone de cuota y funcionalidad, pero recordemos que ORACLE Corporation ahora tiene tres en uno, y adicionalmente tiene el CRM Siebel, y que por lo tanto, la estrategia de estas alianzas tendrá efectos futuros que harán temblar el pedestal donde está SAP, pues es bien conocido en el mercado que el factor diferenciador de Peoplesoft es la funcionalidad de su módulo de recursos humanos. Otra diferencia entre SAP AG y ORACLE Corporation es que si bien SAP AG ofrece un CRM, ORACLE Corporation adquirió a *Siebel* que es un sistema de gestión de relación con clientes (CRM), muy potente y con una buena demanda en el mercado. Por su lado, JD Edwards ha sido muy exitosa en las áreas de manufactura y distribución. Los enfoques de JD y PEOPLE son, pues, distintos: el primero se ha especializado en CRM, y el segundo, en SCM (*Supply Chain Management*) ó administración de cadena de suministros), Otro de los productos líderes de ORACLE Corporation, es su motor de bases de datos y este un aspecto a tener en cuenta por SAP AG como su competidor directo, pues muchas de las empresas que tienen ERP

como solución integrada ya sean de SAP AG o de ORACLE Corporation tiene como su motor de bases de datos la solución que ofrece ORACLE Corporation y esto es un criterio de peso al momento de tomar la decisión de adquirir una solución como estas.

Estas son, pues, algunas de las diferencias entre estos dos productos que, a su vez, son competidores. Veremos cómo en el tiempo cambian las cosas para ambas empresas y, por supuesto, aparecerán otros productos sustitutos y otros competidores que harán presencia en la arena de la industria del software mundial. En la tabla 1: Se presentan los productos ERP de los proveedores SAP AG y ORACLE Corporation y se describen las características de ambos productos.

Tabla 1. Funcionalidad SAP vs. Oracle. Fuente: Elaboración propia a partir de SAP AG y ORACLE Corporation (<http://www.sap.com/spain/solutions>. <http://www.oracle.com/global/es/index.html>). 2007

<i>SAP AG</i>	<i>ORACLE Corporation</i>
<p>La solución ERP de de SAP AG está conformada por las siguientes funcionalidades, que al igual que el producto de Oracle se puede implementar modulo a modulo o adquirir la solución completa:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Funcionalidades • Servicios Corporativos • Gestión de Inmuebles • Gestión de incentivos y comisiones • Gestión de viajes • Finanzas • Contabilidad financiera • Contabilidad de gestión • Gestión financiera de la cadena de abastecimiento 	<p>Oracle E-Business Suite: es una suite completa de aplicaciones empresariales totalmente integrada. Tanto si implanta módulo a módulo, varios módulos o toda la suite, Oracle E-Business Suite proporciona mejor información empresarial para tomar decisiones efectivas y permite adaptar la empresa para conseguir una capacidad de respuesta óptima.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Funcionalidades: • Abastecimiento • Automatización de servicios profesionales • Centro de interacción • Contratos • Cumplimiento de ordenes • Desarrollo de productos • Finanzas • Gestión de activos empresariales

(continúa en la página siguiente)

(viene de la anterior)

<i>SAP AG</i>	<i>ORACLE Corporation</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Autoservicio para administradores • Recursos humanos • Gestión de transacciones de empleados • Gestión de ciclo de vida del empleado • Reclutamiento electrónico • Gestión de relación con los empleados • Autoservicio para empleados • Análisis de recursos humanos • Operaciones • Gestión de órdenes de compra • Gestión de inventario • Gestión de producción • Manutención y calidad • Gestión de entrega • Gestión de órdenes de venta • Funciones de análisis • Estrategia empresarial • Análisis de negocios <p>SAP ERP se basa en una plataforma de tecnología abierta que amplía la visión de negocio, mejora la productividad del personal y le proporciona la flexibilidad necesaria para adaptar la estrategia corporativa a las necesidades empresariales cambiantes. Entre las funcionalidades clave, cabe destacar:</p> <p><i>Análisis empresarial:</i> Permite evaluar el rendimiento del negocio aprovechando las funcionalidades para el análisis del personal, las operaciones y la cadena de suministro.</p> <p><i>Contabilidad financiera y contabilidad interna:</i> Apoya la gestión financiera mediante la automatización de la gestión de la cadena de suministro, la contabilidad financiera y la contabilidad interna.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión de aprendizaje • Inteligencia de negocios • Manufactura • Marketing • Planificación avanzada • Proyectos • Recursos humanos • Servicio • Tesorería • Ventas <p>Las aplicaciones PeopleSoft Enterprise de Oracle están diseñadas para satisfacer los requisitos empresariales más complejos. Proporcionan soluciones empresariales y sectoriales completas que permiten a las organizaciones aumentar significativamente su rendimiento. Las aplicaciones PeopleSoft Enterprise ofrecen integración de servicios Web para acoplarse de forma transparente a entornos de aplicaciones heterogéneos y una amplia selección de infraestructura tecnológica. La sencilla configuración garantiza el cumplimiento de los requisitos más exclusivos de los clientes.</p> <p>Oracle's Siebel Customer Relationship Management (CRM) permite a las organizaciones transformar la experiencia de cliente. Con soluciones adaptadas a más de 20 industrias, Siebel CRM.</p> <p>Comprehensive CRM capabilities Tailored industry solutions Role-based customer intelligence and pre-built integration</p> <p>Concebida especialmente para pequeñas y medianas empresas, JD Edwards</p>

(continúa en la página siguiente)

(viene de la anterior)

<i>SAP AG</i>	<i>ORACLE Corporation</i>
<p>Esta funcionalidad la proporciona.</p> <p><i>Gestión del capital humano:</i> Proporciona las herramientas necesarias para maximizar el potencial de rentabilidad del personal con una funcionalidad para la gestión de transacciones con los empleados y la gestión del ciclo de vida del empleado.</p> <p><i>Gestión de operaciones:</i> Optimiza las operaciones con una funcionalidad integrada para gestionar procesos de logística completos, a la vez que amplía las capacidades colaborativas en la gestión de la cadena de suministro, la gestión del ciclo de vida del producto y la gestión de la relación con los proveedores. Esta funcionalidad la proporciona Gestión de servicios corporativos: Optimiza los servicios centralizados y descentralizados de gestión de bienes inmuebles, viajes de empresa e incentivos y comisiones.</p> <p><i>Autoservicios:</i> Proporciona un portal orientado a los empleados que permite tanto a los empleados como a los directivos crear, ver y modificar información clave. Utiliza una amplia gama de tecnologías de interacción entre las que se encuentran el navegador web y los dispositivos de voz y móviles, que permiten acceder fácilmente a contenido empresarial, aplicaciones y servicios internos y externos.</p>	<p>EnterpriseOne es una suite integrada de aplicaciones con completas y específicas herramientas sectoriales que ofrecen una rápida implantación y un bajo coste total de propiedad. Sólo JD Edwards EnterpriseOne le brinda una oferta tan amplia de bases de datos, sistemas operativos y hardware para crear una solución propia de TI de acuerdo con las necesidades exclusivas de una empresa. A medida que crece el negocio, la inversión aumenta como respuesta a las nuevas demandas del mercado.</p> <p>Creada para la plataforma IBM iSeries, JD Edwards World de Oracle constituye una solución empresarial de primer orden para las pequeñas y medianas empresas. JD Edwards World proporciona la misma funcionalidad avanzada que disfrutaban empresas mayores, no una versión recortada de una solución más amplia.</p> <p>Las aplicaciones Oracle Fusion están diseñadas para unificar las mejores funcionalidades de todas las aplicaciones Oracle en una suite completa con la tecnología abierta de Oracle. Muchas funciones de las Aplicaciones Oracle Fusion ya están disponibles en Oracle Fusion Middleware o lo estarán en futuras versiones de PeopleSoft Enterprise, Oracle E-Business Suite, Siebel CRM, JD Edwards EnterpriseOne y JD Edwards World. Sólo Oracle puede ofrecerle todos los recursos necesarios para ampliar las soluciones que tiene ahora, al tiempo que evoluciona a la próxima generación de Aplicaciones Oracle Fusion.</p>

(continúa en la página siguiente)

(viene de la anterior)

<i>SAP AG</i>	<i>ORACLE Corporation</i>
	<p>Ayuda a integrar las aplicaciones o legado (legacy) existentes lo que permite una adaptación ágil a los cambios de mercado.</p> <p>Oracle On Demand es una amplia cartera de soluciones de software administradas y de suscripción que permite elegir la mejor forma de implantar el software empresarial de Oracle. Con una selección de aplicaciones y soluciones tecnológicas que responden a las necesidades diarias de cada empresa, Oracle On Demand simplifica drásticamente la gestión informática, mejorando los resultados de la empresa al tiempo que bajan los riesgos y los costes. Gracias a su ivariedad de opciones de implantación y conocimientos expertos, Oracle On Demand reduce los riesgos informáticos porque mantiene los sistemas disponibles, seguros y actualizados.</p> <p>Estiliza las operaciones y aporte inteligencia de negocio (capacidades analíticas)</p> <p>Funcionalidad propia de cada tipo de industria y sus peculiaridades</p> <p>Reduce costos e incrementa la rentabilidad.</p>

8.5 JUSTIFICACIÓN PARA LA ADQUISICIÓN DE UNA SOLUCIÓN ERP

Un sistema empresarial es una tecnología costosa. Se han documentado precios del software que oscilan de millones a billones de dólares (Nicolau, 2004) justificar una inversión de tal magnitud no es tarea fácil. Se testimonian justificaciones en tres ejes: lo técnico, lo organizacional y lo económico.

Las justificaciones técnicas aluden a los costos prohibitivos de mantener plataformas informáticas provistas por distintos productores, construidos bajo distintas lógicas, interfaces de usuario y lenguajes. Torres de Babel que no conversan entre sí y donde es común el tener que re-digitar los datos con la consecuente inclusión de errores producto de la imprecisión humana.

Las consecuencias de tal heterogeneidad informática refieren al excesivo costo de mantenimiento, a la pobre calidad de la información (recurso vital para la toma de decisiones), a la dificultad de los usuarios para interactuar con los programas y a las barreras técnicas y cognitivas que este estado de cosas levanta para el acceso a los datos.

Las justificaciones organizacionales refieren a la desconexión de los procesos, a los impedimentos para la coordinación y a la imposibilidad de trabajar en equipo. Consecuentemente, esta pobre alineación entre procesos, personas y tecnología conduce a resultados incoherentes de cara a los clientes, altos costos por desperdicio de recursos, duplicidad y falta de sincronización de tareas.

Consecuencias directas de la fragmentación organizacional son la baja calidad, los altos costos, las demoras en tiempos de respuesta y las promesas incumplidas, todo lo cual atenta contra la rentabilidad, la viabilidad y competitividad del negocio. El ERP promete ordenar la casa mediante la integración y la estandarización de la información bajo el supuesto que datos desintegrados ocasionan negocios desintegrados.

Cuando la gerencia patrocina una inversión tecnológica tan cuantiosa, espera recibir a cambio un mejoramiento notable en los indicadores de valor de la empresa. Las justificaciones económicas prometen mayor participación de mercado vía la satisfacción de clientes; mayor rentabilidad mediante la reducción de costos y superior valor accionario debido al reconocimiento que el mercado financiero haga de la modernización de las operaciones y su impacto en la capacidad de creación de valor.

Sin embargo, una nota curiosa a destacar es el descubrimiento tanto de la investigación en curso, como de la revisión bibliográfica, de la poca justificación formal, técnica y racional de algunos proyectos de esta envergadura. Muchas evidencias existen, de no pocos casos, en los que la decisión de compra se ha hecho con base en referencias de personas influyentes, por imitación a competidores o por persuasión de los vendedores.

8.6 LOS EFECTOS DE LA INVERSIÓN

El ERP tiende autopistas homogéneas, fijas, continuas y confiables entre las funciones clave de negocio. Lo positivo de esta construcción tiene mucho que ver con las ventajas de la máquina: estandarización de procedimientos y lenguajes, confiabilidad en la manipulación de los datos posterior a su ingreso al sistema, rapidez en la obtención de respuestas e incorporación de una visión holística del negocio que despliega la magia de percibir el todo, sus partes y la interacción dinámica entre las partes y el todo de manera instantánea.

Cualquiera con acceso al sistema puede saber el estado exacto del negocio en cada instante y los cambios que cualquier intervención local producen en las otras funciones y en la situación general. Conectados a esa inteligencia colectiva, los actores se sumergen en una realidad muy similar a la del “Colectivo Borg” -esa gran asociación mecánica retratada en la tercera generación de la serie televisiva Viaje a las Estrellas- un solo pensamiento llevadero a una acción coordinada desde un centro de control único.

La centralización del control gerencial es otro de los efectos de la implantación del ERP. El sueño de la administración de poder ingresar a todas las instancias del negocio a voluntad se hace posible con esta plataforma.

Un resultado no despreciable tiene que ver con la mayor productividad del trabajo con datos, y el ahorro significativo en tiempo de procesamiento, que puede dedicarse al análisis y la producción de interpretaciones de calidad.

El lado oscuro de la mecanización colectiva de los procesos de negocio alude a los tres ejes anteriormente mencionados: la tecnología, la organización y la economía. Desde la mirada tecnológica el alto costo de la inversión, la dependencia indefinida de un gigante proveedor con un poder muy superior al propio, cuyas decisiones de rentabilidad arrastran a sus clientes a flujos de caja negativos a los que, muy probablemente, no puedan resistirse.

Si de la organización del trabajo se trata, la adopción de procesos considerados óptimos (mejores prácticas) que incorporan lógicas y reglas de negocio elegidas por otros y vendidos masivamente a los más importantes jugadores de una industria conlleva la creación de estándares de proceso, y puede erosionar la base de diferenciación estratégica. Es decir, si una empresa compite con diferenciación de procesos, puede terminar matando a su gallina de los huevos de oro.

La estandarización de procesos y lenguajes unifica las visiones y las interpretaciones, y puede conducir a una mirada coherente pero única de los eventos de negocio. Se dice que cuando todos piensan igual, a lo mejor sólo uno está pensando. En la diversidad, multiplicidad y disenso hay riqueza de conocimiento. Hay miradas innovadoras a los problemas y diálogo de saberes.

La centralización del control, sueño legendario de la jerarquía, inhibe la iniciativa local y amenaza con conectar a los usuarios a la dominación del omnipotente y omnipresente “hermano mayor” tecnológico. La edificación de la “cárcel psíquica” de que habla Gareth Morgan (1997) amenaza con instaurar un universo de pánico laboral donde toda intervención en eventos cotidianos puede ser monitoreada hasta en sus más ínfimos detalles.

De otro lado, interactuar con el sistema interconectado demanda de una adaptación cognitiva del usuario, para acostumbrarse a una forma tan radicalmente distinta a su manera conocida de trabajar, que equivale a un cambio de paradigma de los más difíciles de asumir. La resistencia a ese cambio es apenas predecible, y los efectos en la productividad y calidad del trabajo no han sido suficientemente evaluados.

Los resultados económicos se han evaluado muy poco. De hecho, un lugar común es la ausencia de mecanismos para medir el impacto de la inversión en el desempeño del negocio. Las investigaciones publicadas hablan de resultados visibles a partir de los dos años y medio de la entrada en operación de la herramienta (Hitt, Wu & Zhou; 2002). La literatura disponible asegura que la realización del Retorno sobre la Inversión (ROI) no puede garantizarse, y depende de la alineación entre los imperativos de la tecnología y los propósitos estratégicos de la empresa (Davenport, 1998).

Se cuentan desde historias felices con resultados que catapultaron a la empresa hacia posiciones de liderazgo en su mercado, hasta narraciones de horror con multinacionales que atribuyen su bancarrota a la implantación del ERP, pasando por proyectos abandonados a mitad del camino (con pérdida de inversiones millonarias) hasta módulos adquiridos e implantados como islas que niegan la funcionalidad primordial de la integración total y estrecha de procesos clave de negocio. Más investigaciones y desarrollos son necesarios en el tema de medición de impacto.

8.7 FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO

Ser exitoso en la adopción de esta tecnología equivale a incrementar el valor de la compañía a través del mejoramiento de su competitividad (Nah & Delgado, 2006). Lo mínimo que se espera de esta aventura es la reducción de costos, el mejoramiento de la calidad, la reducción en tiempos de respuesta, el cumplimiento de las promesas a los clientes, la eficiencia en el manejo de recursos, la coherencia en las interpretaciones de lo que está sucediendo, el apoyo efectivo a los procesos de toma de decisiones y la sincronización de eventos críticos a la ejecución de la misión.

Realizar o no el retorno sobre este tipo de inversión depende de garantizar unas condiciones que se listan a continuación (factores críticos):

La empresa debe tener claro su proyecto estratégico, pues éste define la conveniencia de incorporar una herramienta informática, tipo ERP, para la integración y estandarización de procesos.

Los autores de decisión deben conocer, a profundidad, las necesidades actuales de negocio, en cuanto a información, organización y desempeño. Estas necesidades justifican la adopción de la solución.

El conocimiento detallado del mercado de ERP en cuanto a características de los productos, naturaleza y posicionamiento estratégico de los vendedores y los consultores o “*partners*” y la tipología de los clientes, es imprescindible a la hora de elegir la solución adecuada.

Es necesario balancear los imperativos del sistema con los requerimientos tecnológicos, organizacionales y económicos del negocio.

La decisión de invertir debe someterse a la aplicación de herramientas analíticas modernas de gestión de proyectos y evaluación de inversiones. Embarcarse en una iniciativa de estas dimensiones, basado en justificaciones no racionales, es avanzar despreocupadamente hacia el fracaso.

Una vez se decide invertir en un ERP, la metodología de adopción es un determinante fundamental del éxito del proyecto.

Sin el apoyo de la alta gerencia es imposible disponer de los recursos de poder, legitimidad y capital necesarios.

La elaboración acertada del presupuesto es definitiva a la hora de analizar la conveniencia de la inversión y de garantizar el cumplimiento de los compromisos. Tanto la revisión de literatura como las entrevistas realizadas hasta ahora indican que es lugar común a estos presupuestos el estar mal dimensionados. Ello, principalmente, a causa de los costos ocultos.

La definición del cronograma de trabajo sienta las expectativas de los actores clave y su futura satisfacción con los resultados. Una de las revelaciones de la investigación apunta a que estos no son en realidad proyectos sino procesos pues las actualizaciones del producto y la necesidad de dedicar un equipo de trabajo a la asistencia del sistema posponen indefinidamente la fecha de terminación. Esto

implica que es decisivo delimitar claramente el alcance del proyecto determinando unos puntos de llegada que den cuenta de la finalización del mismo.

Los resultados dependen en alto grado de la calidad del liderazgo del proyecto. Se requiere un experto en los procesos de negocio, en la gestión de adopciones de TIC (Tecnologías de Información y Comunicación) y con un grado alto de aceptación y credibilidad entre los directivos y los subordinados.

El equipo de trabajo tiene que estar conformado por los más conocedores de los procesos involucrados.

Las comunicaciones efectivas son claves para la legitimación de avances ante todos los públicos, la capacitación y entrenamiento y las negociaciones con consultores y proveedores.

La gestión del cambio determina la reducción de la oposición y resistencia y el tiempo de duración del proyecto (lo que incide en el tiempo de espera para la obtención de beneficios).

Los detalles técnicos de parametrización, aprestamiento y conversión de datos y realización de pruebas inciden decisivamente en la operabilidad del producto.

Finalmente, la revisión y diseño de las interacciones del sistema con otros sistemas conlleva la asimilación no problemática dentro de la arquitectura informática del negocio.

8.8 CONCLUSIÓN

Se presentaron resultados parciales de la investigación en curso: “Proceso de adopción de soluciones, ERP (Enterprise Resource Planning) -en empresas colombianas (–un estudio comparativo de caso-)”. Las mismas nos indican que los sistemas ERP satisfacen el sueño de integración de procesos clave de negocio, habilitan visiones holísticas del todo en su interacción dinámica con las partes y facilitan la centralización del control total.

La ingente y masiva inversión de recursos y el impacto fundamental sobre la operación del negocio, hacen de este tipo de

proyectos uno de los más difíciles de gestionar y más inciertos en la obtención de resultados exitosos.

Por tal motivo, las investigadoras decidimos presentar un listado de factores críticos de éxito identificados durante la evaluación de literatura y de proyectos de adopción por empresas colombianas. Pueden clasificarse estos factores en tres tipos de temas: tecnológicos, organizacionales y económicos.

Amerita profundizar en indagaciones sobre asuntos que se dejaron por fuera de nuestro trabajo, tales como el diseño de herramientas para la evaluación del impacto del ERP en el valor de la empresa.

8.9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DAVENPORT, T. H. 1998. Putting the Enterprise into the Enterprise System. Harvard Business Review: 2-12.

HITT, L. M., WU, D. J., & ZHOU, X. 2002. Investment in Enterprise Resource Planning: Business Impact and Productivity Measures. Journal of Management Information Systems, 19(1): 71-98.

MORGAN, Gareth. 1997. Images of Organization. Sage Publications. 2nd. Edition.

NAH, F. F. H. & DELGADO, S. 2006. Critical Success Factor for Enterprise Resource Planning Implementation and Upgrade. Journal of Computer Information Systems (Special Issue): 99-113.

NICOLAOU, A. I. 2004. Firm Performance Effects in Relation to the Implementation and use of Enterprise Resource Planning Systems. Journal of Information Systems, 18(2): 79-105.

LAUDON, K; LAUDON J. (2004): "Information Systems Management: Organization and Technology", 7^a edition, Prentice Hall.

www.oracle.com/global/es/index.html , <septiembre-2007>.

www.sap.com/spain/solutions, <septiembre- 2007>.



Sistemas Computacionales

Se terminó de imprimir en agosto de 2008
en Logoformas S.A.

Para su elaboración se utilizó papel Propal libros 75 gr
en páginas interiores y en carátula Propalcote 250 BD
la fuente usada es Times New Roman a 12.5 puntos