



**ARTÍCULO ORIGINAL  
INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES**

## **Mejora del proceso de inscripciones en una Institución de Educación Superior mediante Simulación**

### ***Registration process optimization in a Higher Education Institution using Simulation***

**Jorge Taddei-Bringas, Ricardo Rodríguez-Carvajal, José Ruiz-Duarte**

Universidad de Sonora. Sonora, México.

E-mail: jtaddei@industrial.uson.mx, jose\_luis\_rd@hotmail.com, ricardo@industrial.uson.mx

*Recibido: 14/07/2012*

*Aprobado: 20/11/2012*

#### **RESUMEN**

El presente documento muestra la utilización de la Simulación de Sistemas, enfocada al sector de los servicios, para resolver problemas de asignación de recursos y toma de decisiones en el proceso de Inscripciones de Primer Ingreso en el campus Hermosillo de la Universidad de Sonora, en el norte de México. El objetivo es encontrar el número óptimo de servidores requeridos en los subprocesos involucrados, sin comprometer la calidad del servicio. Para establecer el comportamiento de las variables de entrada se utilizó la técnica de tiempo estándar mediante un simulacro de inscripción, dado que no se contaba con datos históricos. La etapa de validación de los datos de entrada del modelo se realizó con información real obtenida durante la ejecución del proceso de inscripciones. Con la implementación de dicho modelo se obtuvo una considerable reducción en el tiempo que un aspirante tarda para realizar su inscripción a la Universidad y quedó validado el modelo para futuras aplicaciones.

**Palabras clave:** simulación, optimización, servicios.

#### **ABSTRACT**

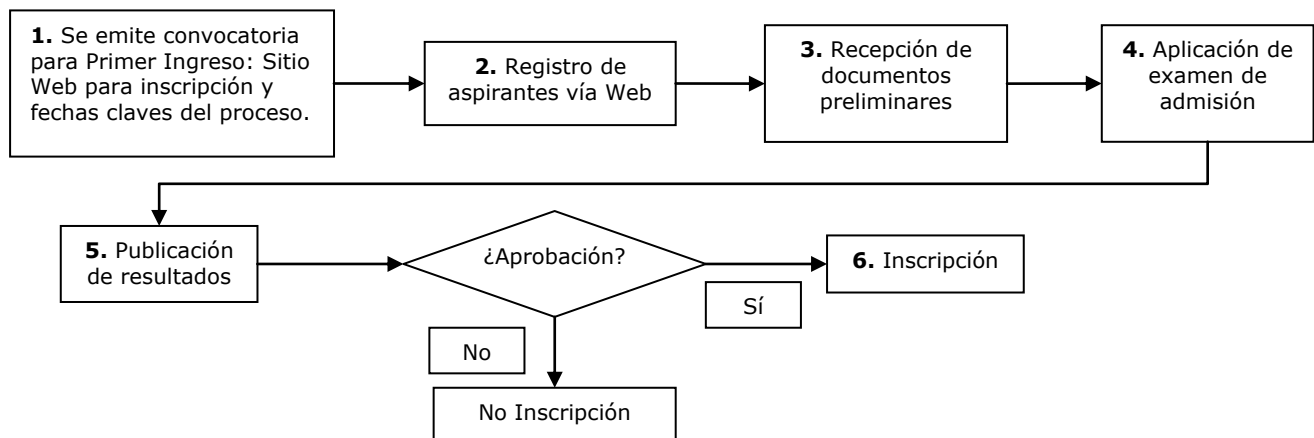
*This paper shows the utilization of Systems Simulation, with a service sector approach, for problem solving and decision making in Freshmen Enrollment Process of the campus Hermosillo at Sonora University, which is located in the north of Mexico. The objective is to reach the optimization of the servers required at each sub process involved, without endanger quality. With the aim of establishing the performance of the input variables, it was used the standard time calculation technique, based on a simulation of the enrollment process, since it was not possible to use historical data. The validation phase of the input data of the model was carried out with real information obtained during the execution of the enrollment process. With the implementation of the model it was obtained a considerable reduction of the enrollment time for the applicants for the University, and the model was validated for future applications.*

**Key words:** simulation, optimization, services.

## I. INTRODUCCIÓN

La Dirección de Servicios Escolares de la Universidad de Sonora (DSE) en México, es una dependencia administrativa que brinda apoyo a la comunidad universitaria, sustentada principalmente en el Reglamento Escolar de Licenciatura y Posgrado, y la normatividad que rige a la Universidad de Sonora. Sus funciones generales son, entre otras: elaborar los trámites que le competen al estudiantado de la institución, ser responsable del proceso de inscripción y las reinscripciones, gestionar el egreso de los estudiantes.

El proceso de Inscripción de Primer Ingreso (PI) se divide en 6 etapas, las cuales se representan en la figura 1.



**Figura 1.** Proceso de Inscripción de Primer Ingreso.

Una vez que el aspirante ha sido notificado de su aceptación, pasa a la etapa 6, la de la inscripción, en la cual requiere oficializar los documentos y entregarlos a la institución; en caso de que todo esté correcto, se le inscribe como estudiante de la Universidad de Sonora.

En esta sexta etapa se ha detectado inconformidad de los estudiantes y del personal encargado del servicio, ya que es muy lento. En ocasiones el aspirante tarda hasta 2 horas para completar el proceso presencial, donde debe pasar por una serie de actividades y hacer varias filas, presentándose algunos cuellos de botella.

Esto se puede ver como una problemática relacionada con la optimización de los recursos involucrados, así como con la necesidad de mejorar la eficiencia y eficacia del servicio. La DSE considera que esta situación puede resolverse con el apoyo de la metodología de Simulación, considerando al aspirante como la entrada y al nuevo alumno como la salida del Sistema.

El objetivo del presente artículo es mostrar cómo la aplicación de la simulación de sistemas permite hacer más eficiente el uso de los recursos, reducir los tiempos de espera y brindar mejor atención a los aspirantes a ingresar a la Universidad de Sonora.

Diversos estudios han demostrado que utilizar simulación para sistemas de colas puede mejorar el rendimiento de dichos sistemas, resultando en tiempos de espera más cortos para las personas que buscan recibir un servicio, así como mejorar el flujo de dichas personas, reduciendo sus cruces [1]. Las herramientas de simulación aplicada a los sistemas de servicio se usan con frecuencia, ya que permiten modelar los procesos y las políticas de los servicios [2]. Por otro lado, Alexander (2007) indica que la simulación de eventos discretos es muy útil para los procesos en los que se requiera analizar los tiempos de ciclos y las interacciones entre fases [3].

La simulación es un conjunto de técnicas apoyadas en computadoras para imitar las operaciones de ciertos tipos de sistemas del mundo real [4]. Esta imitación se logra utilizando distribuciones de probabilidad para generar aleatoriamente los eventos que ocurren en el sistema. Se deben caracterizar matemáticamente las relaciones que definen la interacción entre los elementos que componen al sistema [5]. Si las relaciones son relativamente sencillas, entonces se utilizan los métodos matemáticos convencionales; pero, como en la mayoría de los procesos del mundo real las relaciones son muy complejas para evaluarse mediante métodos analíticos, se utiliza la simulación [4]. Uno de los beneficios de utilizar esta técnica es que no interrumpe a un proceso en operación, además de ser posible analizar los porcentajes de utilización de estaciones de trabajo y recursos disponibles con una cantidad de trabajo establecida [6].

## MEJORA DEL PROCESO DE INSCRIPCIONES EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR MEDIANTE SIMULACIÓN

La excesiva simplificación de los procesos complejos es riesgosa, por lo que la solución de este tipo de problemas debe recurrir a modelos que recuperen dicha complejidad [7].

Según Monleón (2005), la validación del modelo conceptual es el proceso de comprobar la veracidad de las teorías para que la representación del sistema sea correcta, con relación al propósito del modelo [8]; es decir, que lo que ocurre en el modelo sea congruente con lo que ocurre en el sistema real. Por otro lado la verificación, según Rodríguez et al. (2008), consiste en comprobar la correcta implementación del modelo en la computadora [9]. La credibilidad en el modelo de simulación se manifiesta cuando alguna persona clave en el proyecto considera que el modelo es correcto [4].

Debido a que puede darse el caso de que existan modificaciones en las operaciones del sistema que se plantea modelar, se puede utilizar el modelo de simulación para conocer los distintos escenarios que puedan presentarse como consecuencia de diferentes configuraciones en el sistema. Un modelo de simulación diseñado correctamente es capaz de soportar diversos cambios del sistema y ofrece al tomador de decisiones diferentes alternativas de solución al problema [4]. Por último, Llorente et al. (2001) expresan que entre las diversas ventajas que ofrece la simulación a quien estudia un determinado problema, se encuentra la posibilidad de estudiar el comportamiento del sistema en el caso que sufran cambios internos o externos [10].

## II. MÉTODOS

La metodología aplicada es una adecuación propia a partir de la que propone Coss Bu (2011) para simulación de eventos discretos [11], la cual consta de las siguientes etapas:

### 1. Obtener información genérica del sistema

Para desarrollar un modelo válido se definió el sistema y la información más relevante, la cual se obtuvo mediante diversas entrevistas con personal de la DSE y otras áreas de apoyo para el PI.

*Procesos involucrados.* Los procedimientos que se realizan para llevar a cabo esta parte del proceso de inscripción son los siguientes:

- **Revisión de documentos en la entrada (RD).** Es necesario revisar que los aspirantes cuenten con la documentación adecuada antes de permitirles avanzar a los siguientes procesos del sistema.
- **Revisión de huella dactilar (RHD).** La asistencia de los aspirantes al proceso de inscripción se registra mediante la toma de la huella dactilar utilizando un escáner óptico.
- **Digitalización de documentos (DIG).** Los documentos que fueron revisados con anterioridad deben digitalizarse para mantener un registro en el Sistema Integral de Información Administrativa (SIIA).
- **Inscripción en el sistema (IS).** Los datos del aspirante son registrados en el sistema de la Universidad de Sonora, quedando así oficialmente inscrito en su respectiva carrera.
- **Recepción.** El aspirante recibe la bienvenida al proceso.
- **Revisión.** Rápidamente se revisan los documentos con los que cuentan.
- **Captura de datos.** Los datos del aspirante son registrados en la base de datos de la Universidad de Sonora.
- **Impresión.** Se imprime la papeleta de inscripción y el horario del nuevo estudiante.
- **Firma.** El estudiante hace constar por medio de su firma que el proceso se ha llevado a cabo.
- **Revisar Seguridad Social.** El estudiante recibe información sobre la seguridad social que ofrece la Universidad.
- **Explicación.** Se explica al estudiante la información que contiene la papeleta de inscripción.

En la figura 2 se muestran las operaciones involucradas en el proceso de IS. En el mismo se puede apreciar el tiempo en minutos consumido, la simbología (explicada en la parte inferior del diagrama), la descripción de la actividad y el resumen, el cual contiene el número de veces que se repite cada tipo de actividad y el tiempo total empleado.

*Total de aspirantes.* El universo de aspirantes registrados para realizar examen de selección fue 15 460, mientras que el total de aspirantes que aprobarán el examen de admisión y pasarán por el PI se estimó entre 4 600 y 4 800.

*Tiempo disponible para llevar a cabo el proceso.* El proceso se llevó a cabo durante 5 días, de 8 de la mañana a 3 de la tarde; es decir, un tiempo de operación de 7 horas por día.

Distancia	Tiempo, en min.	Símbolos					Descripción de la actividad
		○	□	▽	⇒	D	
0	0,0769	x					Recepción
0	0,0807		x				Revisión
0	0,3784	x					Captura de datos
0	0,4895	x					Impresión
0	0,2310					x	Firma
0	0,1098	x					Revisión Seguridad Social
0	0,4837	x					Explicación
<b>Resumen</b>							
Actividad		Símbolo	Número	Tiempo	Distancia		
Operación		○	6	1,5383			
Inspección		□	1	0,0807			
Almacenamiento		▽	0				
Transporte		⇒	0				
Demora		D	1	0,2310			
Total			9	1,8501			

Figura 2. Diagrama de flujo de proceso de Inscripción en el sistema.

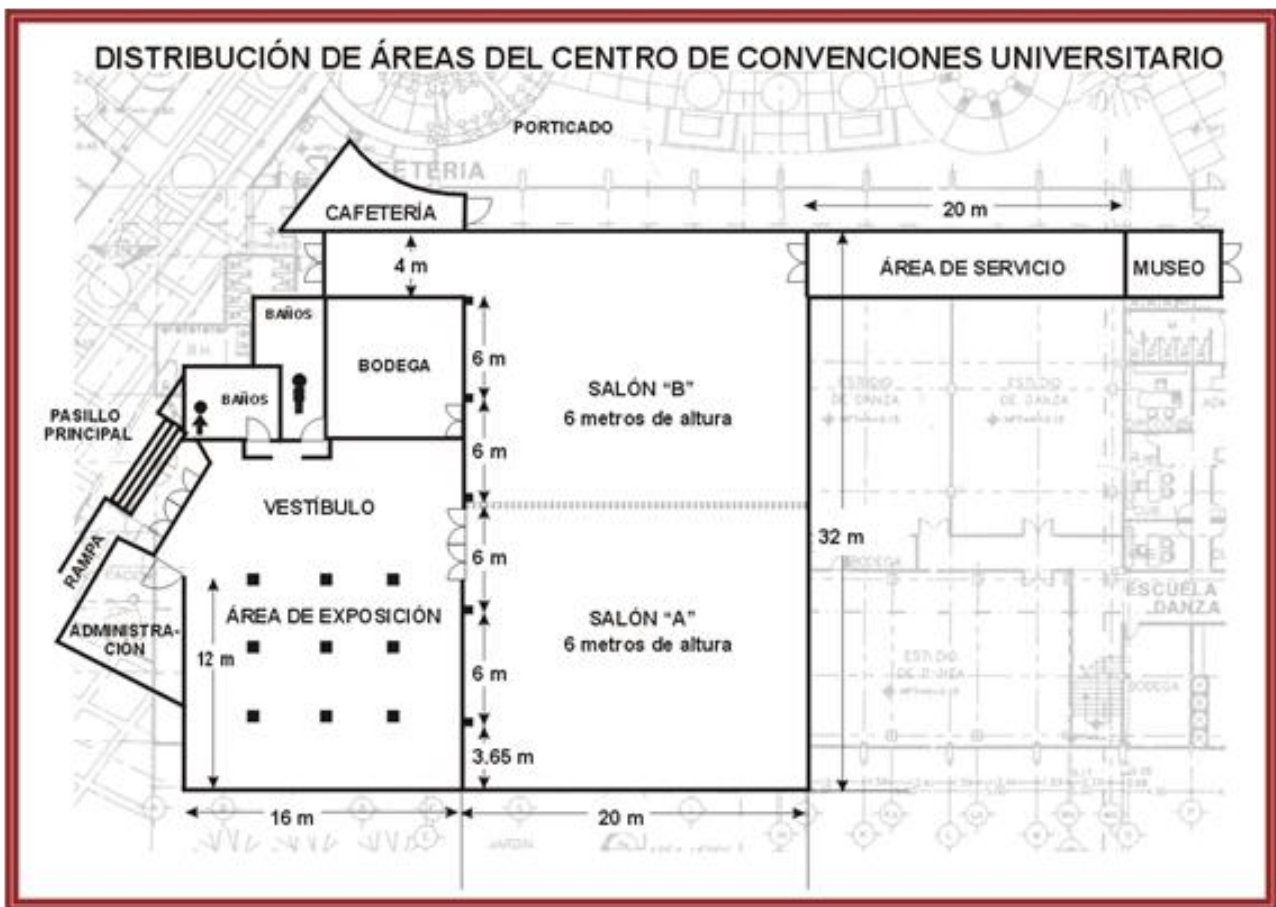


Figura 3. Distribución del Centro de las Artes.

## MEJORA DEL PROCESO DE INSCRIPCIONES EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR MEDIANTE SIMULACIÓN

*Instalaciones donde se lleva a cabo el proceso.* El PI se realizó en el Centro de las Artes de la Universidad de Sonora, campus Hermosillo, ubicado en la esquina de Avenida Luis Donald Colosio y Calle Rosales, Hermosillo, Sonora. La distribución se muestra en la figura 3.

*Características especiales.* Aquellas personas que entregan su documentación con anterioridad por diversas razones -por ejemplo, si no es la primera ocasión que se inscriben en alguna licenciatura dentro de la Universidad- están exentas de la etapa de digitalización de documentos, pues éstos ya están previamente digitalizados. El total de aspirantes registrados que entregaron su documentación con anterioridad es de 908. La proporción del total de aspirantes es  $(908/15\ 460) = 5,87\ %$ .

### 2. Obtener una distribución de probabilidad que se ajuste al tiempo de los procesos que se requieren en el sistema

Para obtener dicha distribución, es necesario tomar una muestra de tiempos y realizar la prueba de bondad de ajuste, o prueba de frecuencias. Ésta consiste en encontrar el valor del estadístico  $\chi^2$  (Chi cuadrado), comparando las frecuencias obtenidas mediante el muestreo y las frecuencias esperadas de determinada función de distribución de probabilidad teórica [11].

Por la naturaleza del sistema, los datos sólo están disponibles cuando el mismo se encuentra en operación, lo que ocurre una vez por año. Por lo anterior, el análisis se llevó a cabo con pruebas piloto (simulacros) para tener una idea del comportamiento de los tiempos. Por ser simulacros que no siempre operan bajo las condiciones reales del sistema, se calculó el tiempo estándar utilizando el sistema Westinghouse para evaluar la actuación [12]. Por esa misma razón se consideró, de manera arbitraria, que tamaños de muestra pequeños ( $n=10$ ) podrían servir inicialmente para estimar los parámetros.

La distribución normal es la más utilizada para modelar experimentos aleatorios [13], por lo que, para la primera parte del modelo, se asumió que todos los procesos siguen una distribución normal, con la media obtenida de la muestra ajustada por el factor de estandarización -ello se muestra en la tabla 1- y la desviación estándar resultantes de la muestra. El resumen de los tiempos en minutos ya ajustados se muestra en la tabla 2.

**Tabla 1.** Factores de estandarización.

Proceso \ Factor	RD	RHD	DIG	IS
<b>Destreza</b>	0,05	0,05	0,08	0,08
<b>Esfuerzo</b>	0	0	0,02	0,02
<b>Condiciones</b>	0	0	0	0
<b>Consistencia</b>	0	0	0	0
<b>Tolerancia</b>	0,05	0,05	0,05	0,05

**Tabla 2.** Resumen de medias y desviación estándar.

Proceso \ Parámetro	$\mu$	$\sigma$
<b>RD</b>	0,8093	0,2318
<b>RHD</b>	0,3388	0,0598
<b>DIG</b>	1,1940	0,4022
<b>IS</b>	1,8501	0,2890

*Revisión de Documentos.* Se usó un tamaño de muestra  $n=10$ .

*Revisión de Huella Dactilar.* Se tomó una muestra de tamaño  $n=45$ , debido a que se presentó la oportunidad de medir un proceso muy similar.

*Digitalización de documentos.* La muestra piloto para DIG se obtuvo a partir de un simulacro del proceso antiguo de IS, el cual incluía todas las operaciones descritas anteriormente para dicho

proceso, incluyendo el proceso de digitalización. Para estas inscripciones de Primer Ingreso, se decidió separar DIG. Se obtuvo una muestra tamaño  $n=10$ .

*Inscripción en el Sistema.* Para obtener la muestra del proceso de IS, se utilizó un simulacro donde se hacían las operaciones necesarias para llevar a cabo la inscripción. Se utilizó una muestra de tamaño  $n=10$ . Como se mencionó anteriormente, en esta parte se restó el tiempo correspondiente a digitalización.

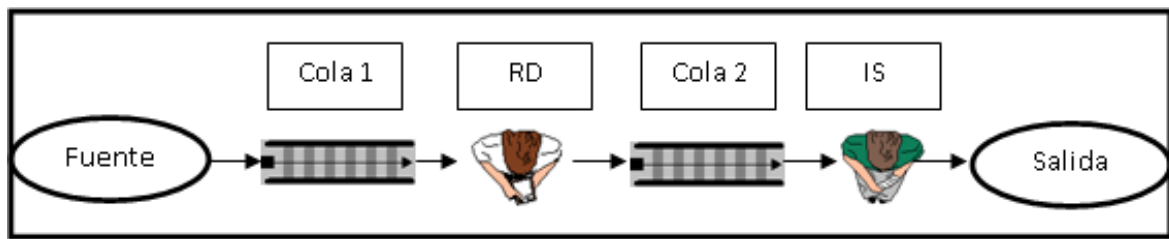
### 3. Desarrollar un modelo de simulación sencillo para verificación

Todos los modelos de simulación se realizaron mediante el *software* ProModel. La Simulación basada en ProModel puede utilizarse para evaluar la productividad en áreas como sistemas hombre-máquina, sistemas de manufactura, manejo de materiales y sistemas de servicios [14].

El objetivo de desarrollar un modelo de simulación sencillo fue revisar el comportamiento de los servidores y que las rutas sean las correctas; en resumen, revisar que los datos y los comandos hayan sido introducidos al programa de manera correcta. En otras palabras, verificar que el programa en ProModel se ejecute tal como se planteó.

En un principio, el sistema contaba con 2 operaciones globales: una persona encargada de revisar la documentación del aspirante y otra de llevar a cabo el resto de las operaciones de inscripción. El proceso en su totalidad –mostrado en la figura 4– era:

1. Recibir al aspirante en el área de recepción.
2. Revisar que la documentación del aspirante sea la correcta.
3. Inscribir al aspirante en el sistema.
4. Retirar al alumno del sistema.



**Figura 4.** Modelo de simulación básico.

Las **locaciones** (lugares donde se llevan a cabo las operaciones) definidas para dicho proceso eran las siguientes:

*Fuente.* Se citaron a 200 alumnos por hora.

*Cola 1.* Cuenta con una capacidad infinita.

*Revisión de la Documentación.* El aspirante espera mientras se verifica que cuente con la documentación completa y original.

*Cola 2.* En esta cola los aspirantes esperan que se encuentre libre una caja donde será capturada su información. Es enviado al primer servidor que se encuentre desocupado.

*Inscripción en el Sistema.* Se lleva a cabo el proceso de inscripción en el sistema, con todas sus operaciones necesarias. El alumno sale del sistema.

Las **entidades** del modelo de simulación, son aquellos entes que pasarán por los diferentes procesos del sistema, que lo transformarán de aspirante a alumno. El nombre de la entidad es "Candidato".

Los **procesos** son las actividades que se llevan a cabo en las locaciones sobre las entidades. El comando WAIT es el más adecuado, ya que detiene a la entidad en la locación por un tiempo determinado. Los procesos también dirigen a la entidad a la siguiente locación. La relación entre locaciones, actividades, y salidas de cada proceso se muestran en la tabla 3 –vale la pena recordar que en un principio no se tenía el análisis todos los tiempos.

El factor más importante a analizar en este modelo es que los clientes hayan sido atendidos (salidas); es decir, que la programación del modelo haya sido la correcta.

Los resultados para el modelo 1 se muestran en la tabla 4.

## MEJORA DEL PROCESO DE INSCRIPCIONES EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR MEDIANTE SIMULACIÓN

**Tabla 3.** Procesos del primer modelo.

Locación	Actividad	Salida
Cola 1	-	RD
RD	WAIT (1/3)	Cola 2
Cola 2	-	IS
IS	WAIT (N(3.019, .699))	Salida del sistema

**Tabla 4.** Resultados para el modelo 1.

Tiempo Simulado:	5 horas				
Entidades					
Nombre	Salidas	En Proceso	Tiempo Promedio		
Candidato	94	906	151,03		
Locaciones					
Nombre	Entradas locación	Tiempo por Entidad	Contenido Promedio	Entidades Actuales	% de Utilización
Cola 1	1.000,00	113,06	376,88	704	0,04
RD	296	1,01	1,00	1	99,68
Cola 2	295	177,42	174,46	200	87,23
IS	95	3,12	0,99	1	98,88

Para medir la eficiencia y eficacia de los diferentes modelos, se tomaron en cuenta.

- El número de salidas del sistema.
- El número de entidades actualmente en el sistema, es decir, que no pudieron ser atendidas en un periodo de 7 horas.
- El porcentaje máximo y mínimo de utilización de las locaciones. El porcentaje de utilización de una locación es el tiempo en que una locación se encuentra ocupada por una entidad dividida entre el tiempo total de la simulación.

Se puede observar que solamente se lograron atender 94 aspirantes y 906 quedaron sin terminar, tardando un tiempo promedio de 151 minutos. Además, la Cola 1 tiene aún a 704 aspirantes esperando avanzar a la primera operación, y la Cola 2 tiene 200 aspirantes. Se observa también que la utilización de las locaciones es cercana al 100 %, lo que quiere decir que estuvieron ocupadas casi todo el tiempo de la simulación. En resumen, estos resultados indican que el modelo es insuficiente, pero sirvió para propósitos de verificación.

#### **4. Desarrollar un modelo de simulación para encontrar la mejor solución**

A diferencia de la etapa 3, este modelo será utilizado para realizar la experimentación y encontrar la mejor solución, la cual será presentada a la DSE.

Al momento de comenzar esta investigación, se tenía información limitada sobre los diferentes elementos del proceso. Además, durante el desarrollo de la misma se tomaron decisiones que afectaron las locaciones y los procesos del modelo.

Primero se decidió que se separaría la operación de digitalización del resto de las operaciones de IS. Esto fue debido a que en el ciclo anterior los escáneres que permiten la digitalización tuvieron problemas técnicos, afectando el flujo de las personas a través de los procesos. Con esto se logró un mayor control sobre el proceso de digitalización.

Los estudiantes que ingresaron a la Universidad de Sonora el año anterior tuvieron una nueva forma de registro: la huella dactilar. Con este nuevo registro, se decidió añadir una nueva operación al proceso: Revisión de Huella Dactilar.

Estos cambios modifican al modelo en algunas de sus características. Las nuevas locaciones son:  
*Cola 1.* Idéntica a los modelos anteriores.

*RD.* Idéntica a los modelos anteriores. Una vez que son verificados, los aspirantes pueden pasar a RHD. Un 5,87 % de aspirantes se clasificaron como casos especiales que pueden pasar directamente a IS.

*RHD.* Un lector óptico registra la asistencia del aspirante. Los aspirantes pasan a DIG.

*DIG.* La documentación se ingresa en la base de datos. Los aspirantes pasan a la Cola 2.

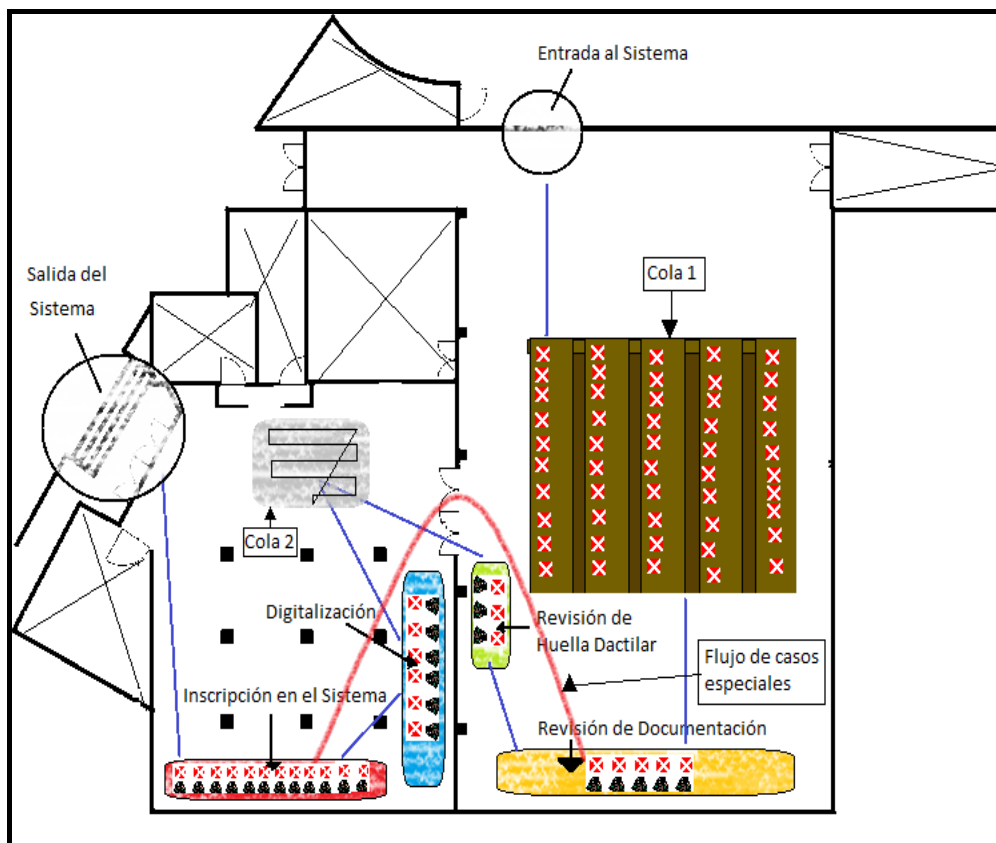
*Cola 2.* Los aspirantes esperan para ser atendidos en IS.

*IS.* Se registran los datos en el sistema. El alumno sale del sistema.

El 1 de junio se realizó el muestreo para conocer los tiempos de RHD. El 8 de junio se llevó a cabo un muestreo para conocer el tiempo de RD. En una reunión con el Comité Institucional de Primer Ingreso (CIPI) y algunas áreas de apoyo, se acordó el acomodo definitivo de las instalaciones para brindar a los aspirantes una mayor comodidad durante su estancia en el proceso de inscripción. Las instalaciones del salón A y el salón B del Centro de las Artes se utilizarían para que los aspirantes que llegaran a inscribirse esperaran en ese lugar, para evitar cualquier afectación por el calor ambiental.

Luego se decidió que serían atendidos 111 aspirantes por cada media hora, como promedio.

Los cambios anteriores, que involucran a las políticas de operación y a la experimentación para hacer más eficiente el sistema, originan las 32 modificaciones al modelo. Éstas se hicieron en varios puntos, a medida que el modelo se iba escalando, como se muestra en la tabla 5. El número de corridas y las horas simuladas se modificaron hasta que la política fue establecida en un horario de servicio de 7 horas; de manera similar, las reglas de llegada fueron alterándose hasta que la DSE tomó la decisión de llamar un promedio de 111 aspirantes cada 30 minutos, durante las 7 horas. La eficacia indica la capacidad de atender las entradas que se registraran en el sistema, mientras que la eficiencia mide la diferencia entre la operación más ocupada y más desocupada. La distribución final del modelo para el PI se puede observar en la figura 5.



**Figura 5.** Modelo final del proceso de inscripciones.



## MEJORA DEL PROCESO DE INSCRIPCIONES EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR MEDIANTE SIMULACIÓN

**Tabla 5.** Resumen de eficiencia, eficacia y tiempo de ejecución.

Modelo modificado	No. De		Reglas de entrada			Eficacia			Eficiencia (%)		
	Corridas	Simuladas	Llegadas	Tiempo	Ocurrencias	Entradas	Salidas	S/E	Max	Min	Diferencia
1	1	5	200	60	5	1000	94	9%	99,68	98,88	0,8
2	1	5	200	60	5	1000	879	88%	99,68	90,41	9,27
3	1	5	200	50	5	1000	1000	100%	98,17	60,7	37,47
4	5	5	200	60	5	1000	980,6	98%	96,48	55,5	40,98
5	5	8	200	60	8	1600	1580,6	99%	96,5	55,5	41
6	1	5	200	60	5	1000	1000	100%	84,82	0	84,82
7	5	5	200	60	5	1000	1000	100%	90,08	73,46	16,62
8	5	5	200	60	5	1000	1000	100%	91,86	80,26	11,6
9	5	5	200	60	5	1000	1000	100%	88,72	0,63	88,09
10	5	5	200	60	5	1000	1000	100%	88,72	0,63	88,09
11	10	5	1	e(3/10)	1000	984,9	971,3	99%	89,88	5,63	84,25
12	10	5	p(200)	60	5	1001,4	998,3	100%	90,14	8,16	81,98
13	10	5	200	60	5	1000	1000	100%	89,95	7,19	82,76
14	10	5	200	60	5	1000	999,7	100%	89,51	12,38	77,13
15	10	5	200	60	5	1000	1000	100%	88,02	10,58	77,44
16	10	5	200	60	5	1000	999,9	100%	89,58	2,24	87,34
17	10	7	223	60	7	1561	1532,9	98%	99,66	2,49	97,17
18	3	7	223	60	7	1561	1426,67	91%	99,99	0,47	99,52
19	3	7	223	60	7	1561	1561	100%	85,27	60,32	24,95
20	3	7	223	60	7	1561	1561	100%	82,56	64,21	18,35
21	3	7	223	60	7	1561	248,33	16%	99,99	0	99,99
22	3	7	223	60	7	1561	1559,33	100%	92,81	42,07	50,74
23	3	7	223	60	7	1561	1561	100%	83,61	62,19	21,42
24	3	7	223	60	7	1561	1561	100%	79,67	68,8	10,87
25	3	7	223	60	7	35	35	100%	4,84	0	4,84
26	3	7	223	60	7	1561	1561	100%	79,31	68,48	10,83
27	3	7	223	60	7	1561	1561	100%	83,98	53,34	30,64
28	3	7	223	60	7	1561	1552,67	99%	94,7	56,14	38,56
29	3	7	223	60	7	1561	1561	100%	90,74	64,71	26,03
30	3	7	223	60	7	1561	1561	100%	85,98	66,48	19,5
31	3	7	111	30	14	1554	1554	100%	84,24	51,12	33,12
32	3	7	111	30	14	1554	1554	100%	77,73	40,55	37,18

### Validación de los datos de entrada

En este caso, dado que no se tenía información histórica y el modelo se ejecutaría a posteriori, se procedió a hacer un muestreo preliminar de las operaciones involucradas en el proceso de inscripción, para tener una idea del comportamiento de los tiempos de cada una de ellas. A medida que se ejecutó el proceso de inscripción, se fue escalando el modelo con los datos reales para las distribuciones. Con ello se tiene un modelo validado para futuras aplicaciones.

*Muestreo.* Durante 5 días se llevó a cabo el PI, con la distribución expuesta anteriormente. Siendo éste el proceso en el cual se llevarían a cabo las operaciones que interesaban para el modelo, se decidió hacer un muestreo para los tiempos de atención de los diferentes servidores, con el fin de validar así los valores de los tiempos de atención, utilizando para ello las pruebas piloto anteriores. Se procedió a calcular el tamaño de muestra apropiado mediante la expresión 1.

$$n = \frac{(N)(S^2)}{(D)(N - 1) + (S^2)} \tag{1}$$

Donde:

$N$  = Tamaño de la población (número de personas atendidas por servidor)

$S^2$  = Varianza de la prueba piloto

$D = B^2/4$

$B$  = Límite para el error de estimación [15]

Asignando un nivel de confianza del 95 % y un error máximo permitido dado, se puede encontrar el tamaño de muestra para cada proceso. En la tabla 6 se pueden observar dichos valores.

**Tabla 6.** Tamaño de muestra.

Operación	Servidores	Aspirantes/ Servidor	Desviación Estándar	Error máximo	Tamaño muestra
RD	5	960	13,9096	2 seg	162
RHD	3	1600	3,5858	0.5 seg	183
DIG	6	800	24,1326	3 seg	196
IS	12	400	17,3388	2 seg	172

Los datos se recabaron mediante muestreo sistemático con un cierto número de datos cada hora. *Modelo validado.* A los datos obtenidos se les aplicó la prueba del estadístico Chi-cuadrado para determinar qué distribución de probabilidad los describía adecuadamente. El procedimiento fue el siguiente [16]:

1. Calcular la media y la varianza de los datos.
2. Crear un histograma de  $m \cong \sqrt{n}$  intervalos y obtener la frecuencia observada en cada intervalo ( $FO_i$ ).
3. Establecer explícitamente la hipótesis nula, proponiendo una distribución de probabilidad que se ajuste a la forma del histograma.
4. Calcular la frecuencia esperada ( $FE_i$ ) a partir de la función de probabilidad propuesta. La frecuencia esperada de cada intervalo se calcula multiplicando la probabilidad del mismo por el total de datos de la muestra.
5. Calcular el estadístico de prueba mediante la expresión 2.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(FO_i - FE_i)^2}{FE_i} \tag{2}$$

6. Definir el nivel de significancia de la prueba,  $\alpha$ , y determinar el valor crítico de la prueba  $\chi^2_{\alpha, m-k-1}$  (k es el número de parámetros estimados para la distribución).
7. Comparar el estadístico de prueba con el valor crítico. Si el estadístico de prueba es menor que el valor crítico no se puede rechazar la hipótesis nula

La media y la varianza, así como el número y tamaño de los intervalos de los datos recolectados se muestran en la tabla 7.

**Tabla 7.** Resumen de los datos obtenidos.

Proceso	$\bar{x}$	$s^2$	n	$m = \sqrt{n}$	Valor Mín	Valor Máx	Tamaño del intervalo
RD	0,8842	0,4244	252	16	0,0717	3,6288	0,2223
RHD	0,3515	0,0184	267	17	0,1580	0,8407	0,0402
DIG	0,9423	0,1302	211	15	0,1975	2,1787	0,1321
IS	3,9534	2,7888	172	14	1,5630	10,8135	0,6608

## MEJORA DEL PROCESO DE INSCRIPCIONES EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR MEDIANTE SIMULACIÓN

Al realizar las pruebas de Chi-cuadrado con un nivel de confianza del 95 %, se obtuvo que los datos se ajustaron a las distribuciones de probabilidad mostradas en la tabla 8.

**Tabla 8.** Distribuciones de probabilidad ajustadas.

Proceso	Distribución	Parámetro 1	Parámetro 2
RD	Log Normal	Media: 0,8842	Desviación Estándar: 0,4244
RHD	Log Normal	Media: 0,3515	Desviación Estándar: 0,0184
DIG	Gamma	Alfa: 6,8197	Beta: 0,1382
IS	Log Normal	Media: 3,9534	Desviación Estándar: 2,7888

Con estos nuevos datos se alimentó el modelo de simulación y, después de varias pruebas, se concluyó que era necesario añadir una fila entre la Digitalización y la Inscripción en el Sistema; con esta locación incluida, la distribución del modelo que optimizaba la utilización de los recursos y reducía el tiempo de operación del sistema se muestra en la tabla 9.

**Tabla 9.** Distribución de modelo validado.

Locación	Servidores	Antecesor	Sucesor
<b>Espera</b>	-	<i>Entrada al sistema</i>	RD
<b>RD</b>	4	Espera	RHD (94,13 %) Cola 2 (5,87 %)
<b>RHD</b>	2	RD	Cola 1
<b>Cola 1</b>	-	RHD	DIG
<b>DIG</b>	4	Cola 1	Cola 2
<b>Cola 2</b>	-	DIG	IS
<b>IS</b>	16	Cola 2	<i>Salida del sistema</i>

### Análisis de resultados de la simulación

Se deben utilizar técnicas estadísticas apropiadas –procedimiento de muestreo e intervalos de confianza- para analizar los experimentos de la simulación. Para la estimación de la media de una serie de corridas del modelo de simulación, consideradas como una muestra de una infinidad de corridas posibles, se puede utilizar un intervalo de confianza, mostrado en la expresión 3 [13].

$$\bar{X}(n) \pm (t_{\alpha/2, n-1}) \left( \frac{S(n)}{\sqrt{n}} \right) \quad (3)$$

Donde  $S(n)$  está dada por la expresión 4:

$$S(n) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [X_i - \bar{X}(n)]^2}{n-1}} \quad (4)$$

### III. RESULTADOS

Se realizó una prueba piloto con 10 réplicas, y se obtuvo un promedio de 7,15 horas y una desviación estándar de 0,0499 horas. Se utilizó la expresión 5 para obtener el tamaño de muestra cuando la población es infinita:

$$n = \left( \frac{Zs}{e} \right)^2 \quad (5)$$

Donde:

Z = nivel de confianza deseado

S = desviación estándar obtenida de la prueba piloto

e = error máximo permitido [15]

Con un nivel de confianza de 98 % y un error deseado de 1 minuto, se obtuvo que un tamaño de muestra de  $n=20$  sería apropiado. Con estos datos se obtuvo un promedio  $\bar{x} = 7,1655$  horas con una desviación estándar  $s=0,0665$  horas. Con esta información se calculó el intervalo de confianza del tiempo de operación.

Utilizando un nivel de confianza de 95 %, es decir un valor de  $t_{19,0.025} = 2,093$ , se obtuvo que el tiempo de operación se ubicaría entre 7 horas con 8 minutos y 7 horas con 12 minutos:

$$7:08 < \text{Horas de Operación} < 7:12$$

La utilización de las estaciones se resume en la tabla 10.

**Tabla 10.** Utilización de las estaciones del modelo validado.

Locación	Unidades	% de Utilización
<b>RD</b>	4	89,21
<b>RHD</b>	2	59,68
<b>DIG</b>	4	80,17
<b>IS</b>	16	89,18

El tiempo promedio de entidades en el sistema fue de 20,75 minutos.

#### IV. DISCUSIÓN

Los resultados muestran que se pueden atender a 111 alumnos cada 30 minutos, lo que indica que el tiempo que un alumno se encuentra en el sistema no rebasa los 30 minutos. Los análisis realizados por ProModel indican que los aspirantes tardan, desde que llegan al PI hasta que salen inscritos, 20,75 minutos; en promedio, lo cual es mucho menor a las 2 horas consideradas por la DSE.

No fue posible desarrollar un modelo que finalizara su operación en un máximo de 7 horas con una cantidad razonablemente baja de recursos. Para lograr ese tiempo se requerían, por lo menos, un total de 47 personas, distribuidas en las diversas locaciones, lo cual haría que las mismas operaran de manera deficiente.

Nótese que en el caso de RHD la utilización promedio estuvo en un 59,68 %, incumpliendo el objetivo que pedía una utilización entre 80 y 90 %; esto es debido a que, si se reduce el número de estaciones en dicha operación con el fin de aumentar su utilización, el resto del sistema no tiene capacidad para atender a los aspirantes en, por lo menos, 8 horas de operación.

Se sabe ahora que el PI es un sistema mutante, que está sujeto a diversos cambios con la finalidad de mejorar siempre el servicio que se ofrece a los aspirantes de nuevo ingreso. Una de las ventajas de realizar un modelo de simulación es que éste puede ser modificado ante cualquier decisión que afecte al PI, y así medir el desempeño del mismo a través del modelo, para considerar si se trata de una decisión acertada o no. La DSE ha decidido utilizar el modelo de simulación en los ciclos siguientes del PI.

#### V. CONCLUSIONES

1. Es posible emplear la Simulación de Sistemas en procesos de inscripción, utilizando ProModel, de una manera muy parecida a la usada en los sistemas productivos para cumplir objetivos relacionados con la optimización de recursos, reducción del tiempo de ciclo total, mejora de la eficacia y la eficiencia de un determinado sistema.
2. El uso de la simulación, además de posibilitar la mejora en la efectividad de un determinado sistema, permite obtener información desconocida acerca del mismo –operaciones, tiempos, secuencias, etcétera.

## MEJORA DEL PROCESO DE INSCRIPCIONES EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR MEDIANTE SIMULACIÓN

3. El modelo de simulación ayuda a sustentar la toma de decisiones, así como a ensayar cambios de estructura del sistema de inscripciones y experimentar con ellos hasta encontrar los mejores resultados.
4. La simulación del sistema de inscripción de primer ingreso coadyuvó para que la DSE redujera los tiempos de espera de 2 horas a un promedio de 20,75 minutos, por alumno inscrito. 🏠

### VI. REFERENCIAS

1. FERNANDO, J.; RIAÑO, G., «Análisis de colas para el diseño de una cafetería mediante simulación de eventos discretos», *Revista de Ingeniería* [en línea], 2007, no. 25, pp.12-21 [consulta: 2012-08-16], ISSN 0121-4993. Disponible en: <[http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-49932007000100002&lng=es&nrm=>](http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932007000100002&lng=es&nrm=>)>
2. LEE, Y. M.; WANG, W.; AN, L.; XU, J.; BAGCHI, S.; CONNORS, D.; KAPOOR, S.; KATIRCIOGLU, K., «Discrete event simulation modeling of resource planning and service order execution for service businesses», en S. G. HENDERSON; B. BILLER; M. H. HSIEH; J. SHORTLE; J. D. TEW; R. R. BARTON (eds.), *Winter Simulation Conference* Augusta, Georgia, 2008, E-ISBN 978-1-4244-1306-5.
3. ALEXANDER, C. W., «Discrete event simulation for batch processing», en R. M. (eds.) L. F. PERRONE; F. P. WIELAND; J. LIU; B. G. LAWSON; D. M. NICOL; FUJIMOTO, *Winter Simulation Conference* Augusta, Georgia, Institución publicadora, 2007, ISBN 1-4244-0501-7.
4. BANKS, J.; NELSON, B. L., *Discrete-Event Simulation*, New Jersey (USA), Prentice Hall, 2010, ISBN 0136062127.
5. GARCÍA, F.; SIERRA, J.; GUZMÁN, M. V., *Simulación de Sistemas para Administración e Ingeniería*, México D. F., Continental, 2005, ISBN 9702408431.
6. TRUJILLO, T. L.; MARTÍNEZ, A. M.; SÁNCHEZ, C. G. M.; ÁVILA, L. C. F.; OLIVOS, J. P. S., «Aplicación de simulación para incrementar la productividad de la empresa "La Molienda de Santa Maty"», *Revista de la Ingeniería Industrial* [en línea], 2011, vol. 5, no. 1, pp. 115-131 [consulta: 2012-08-26], ISSN 1940-2163. Disponible en: <<http://academiajournals.com/downloads/LozadaInd2011.pdf>>
7. CARDOZO, B. M., «Gestión pública: complejidad y simulación», *Administracion y Organizaciones* [en línea], 2010, vol. 13, no. 25, pp. 37-52 [consulta: 2012-09-02], ISSN 1665-014X. Disponible en: <[http://148.206.107.15/biblioteca\\_digital/estadistica.php?id\\_host=6&tipo=ARTICULO&id=8014&archivo=9-565-8014pxn.pdf](http://148.206.107.15/biblioteca_digital/estadistica.php?id_host=6&tipo=ARTICULO&id=8014&archivo=9-565-8014pxn.pdf)>
8. MONLEÓN, T., «Optimización de los ensayos clínicos de fármacos mediante simulación de eventos discretos, su modelación, validación, verificación y la mejora de la calidad de sus datos», [tesis doctoral], Barcelona, Universitat de Barcelona, Departament d'Estadística, 2005.
9. RODRÍGUEZ, J. M.; SERRANO, D.; MONLEÓN, T.; CARO, J., «Los modelos de simulación de eventos discretos en la evaluación económica de tecnologías y productos sanitarios», *Gac Sanit* [en línea], 2008, vol. 22, no. 2, pp. 151-161 [consulta: 2012-07-10], ISSN 0213-9111. Disponible en: <<http://scielo.isciii.es/pdf/gsv22n2/revison.pdf>>
10. LLORENTE, S.; PUENTE, F. J.; ALONSO, M.; ARCOS, P. I., «Aplicaciones de la simulación en la gestión de un servicio de urgencias hospitalario», *Emergencias* [en línea], 2001, vol. 13, no. 2, pp. 90-96 [consulta: 2012-08-28], ISSN 1137-6821. Disponible en: <[http://www.semes.org/revista/vol13\\_2/90-96.pdf](http://www.semes.org/revista/vol13_2/90-96.pdf)>
11. COSS BU, R., *Simulación un enfoque práctico*, 2da. ed., México, D.F., Limusa S.A. de C.V., 2011, ISBN 978-968-18-1506-6.
12. NIEBEL, B. W.; FREIVALDS, A., *Ingeniería industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo*, México, D. F., Mc Graw-Hill Interamericana, 2009, ISBN 9789701069622.
13. MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C., *Probabilidad y Estadística aplicadas a la ingeniería*, México D. F., Limusa, 2007, ISBN 970-10-1017-5.
14. YU, Q.; DUFFY, V.; MCGINLEY, J.; ROWLAND, Z., «Productivity simulation with promodel for an automotive assembly workstation involving a lift assist device», en R. M. (eds.) L. F. PERRONE; F. P. WIELAND; J. LIU; B. G. LAWSON; D. M. NICOL; FUJIMOTO, *Winter Simulation Conference* Augusta, Georgia, 2007, pp. 1935-1939. ISBN 1-4244-0501-7.
15. SCHEAFFER, R. L.; MENDENHALL, W.; OTT, L., *Elementos de Muestreo*, 6ta. ed., Madrid,

Paraninfo, 2007, ISBN 8497324935.

16. GARCÍA, E.; GARCÍA, H.; CÁRDENAS, L. E., *Simulación y Análisis de Sistemas con ProModel*, Naucalpan (México), Prentice Hall, 2006, ISBN 9789702607731.