

Alimentación de un modelo de simulación mediante una conexión entre un Sistema de información, R y SDLPS

Jorge Leiva Olmos¹, Pau Fonseca i Casas², Jordi Ocaña³

¹ Corresponding Author. Doctor Gustavo Fricke Hospital. Alvares 1332 2570017, Viña del Mar, Chile {Jorge.leiva.olmos@redsalud.gob.cl}

² Polytechnic University of Catalonia. Campus Nord. Jordi Girona 1-3 08034, Barcelona, Spain {pau@fib.upc.edu}. Tel. (+ 34) 93 4017732; Fax. (+ 34) 93 4015855.

³ University of Barcelona. Department of Statistics. Diagonal 645 08028, Barcelona, Spain {jocana@ub.edu}.

ABSTRACT

Este trabajo desarrolla una metodología para alimentar de forma más automatizada un modelo de simulación. Para ello se generó un código de programación hecho con el lenguaje R que: 1) se conecta con base de datos; 2) valida los datos y 3) alimenta un modelo de simulación descrito en SDL e implementado en el software de simulación SDLPS, el cual lee la información generada en R. Este desarrollo se aplicó a un proceso de un hospital chileno.

Los principales beneficios son: Es aplicable a distintas áreas y procesos; aumenta la oportunidad de la verificación y validación operacional del modelo; facilita el monitoreo del sistema en periodos más cortos y permite la experimentación más temprana de distintos escenarios para evaluar y planificar soluciones ante eventuales problemas.

Keywords: Process, Model, Simulation; SDL, R, SDLPS, Hospital.

1. Introduction

En muchas áreas (industriales, salud, educación, comerciales, de servicios, etc.) existen procesos que requieren mejorar su funcionamiento. El modelamiento y simulación de sistemas (en particular nos centraremos en la de eventos discretos) colaboran en este sentido, permitiendo conocer sus características, funcionamiento y estimar que puede ocurrir ante un cambio en los procesos. Entre las dificultades importantes que se encuentran al implementar este tipo de herramientas, son el tiempo y el costo que existe antes de que los directivos de las instituciones vean sus beneficios, por ello se sugiere centrarse en los aspectos más importantes del sistema a estudiar, obteniendo un modelo útil, aunque no represente fielmente toda la realidad del sistema.

Una versión simplificada del proceso de un modelo de simulación se presenta en la Figure N° 1. La entidad problema es el sistema (real o propuesto), el modelo conceptual es la representación (matemática, lógica, verbal o gráfica) de la entidad problema y el modelo computarizado es el modelo conceptual desarrollado en una aplicación informática o con un lenguaje de programación. El resultado de la simulación, es representar de manera simple y fiel, el comportamiento de sistema real. Esta representatividad se evalúa mediante validaciones del modelo y verificaciones sobre su implementación. La validación del modelo conceptual es la correspondencia entre el modelo teórico y la realidad. Para ello se revisa la

inclusión, estructura y relación de los elementos que definen adecuadamente el proceso, según los fines establecidos. La verificación del modelo computarizado evalúa la consistencia del desarrollo computacional creado en relación con el modelo teórico. Para ello se revisa los elementos incluidos, el diseño, la lógica empleada y/o la existencia de errores de programación. La validación operacional se define como el aseguramiento de que las salidas del modelo computacional tienen una precisión suficiente, según el propósito y dominio de aplicabilidad del modelo, para lo cual se debe parametrizar y calibrar. La validez de los datos se define como la garantía de que estos son adecuados, precisos y suficientes para la construcción del modelo, su validación, verificación, simulación y realización de experimentos. Esto implica obtenerlos en las distintas etapas del proceso, analizar su calidad (coherencia, integridad, independencia, etc.) y realizar pruebas estadísticas para determinar las distribuciones de probabilidad y los parámetros que representen el comportamiento de las variables del proceso bajo estudio.

Generalmente se desarrollan varias versiones antes de obtener un modelo de simulación válido y satisfactorio. En cada iteración, se debe realizar su verificación y validación. Una vez realizado el proceso de modelamiento, validación y verificación de acuerdo al propósito previsto, se pueden evaluar las hipótesis sobre el sistema a partir de los resultados obtenidos de la simulación del modelo.

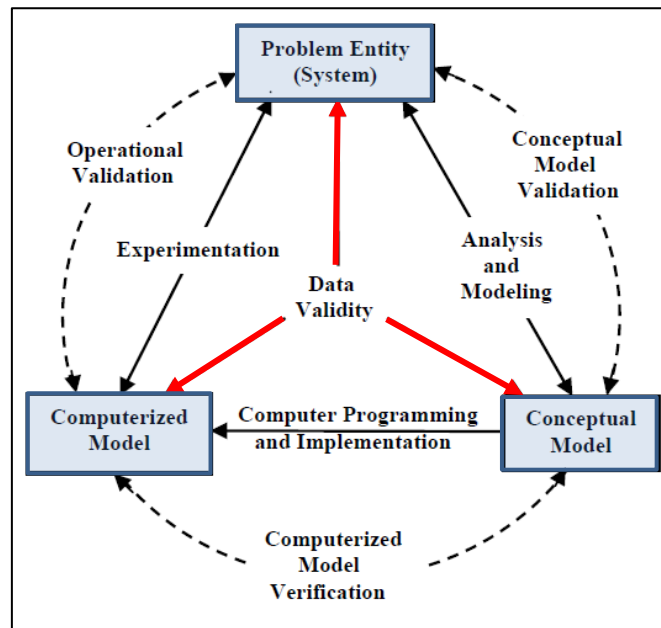


Figure N° 1. Versión simplificada de un proceso de modelación[1].

Respecto al acceso de los datos para alimentar el modelo, estos se obtienen desde una o más fuentes de información (listados, reportes, base de datos o repositorio¹, u otros), los cuales son generalmente analizados mediante un programa estadístico (o módulo incluido en el mismo programa de simulación), entregando información respecto a las distribuciones de probabilidad y sus parámetros, la que debe ser ingresada (en la mayoría de las veces, en forma manual) al modelo computarizado. Estos pasos podrían repetirse varias veces para calibrar el modelo², ajustarlo en el tiempo³ o modificarlo por algún cambio en el proceso y por consecuencia, un nuevo ajuste y parametrización. Otro aspecto

¹ Algunas instituciones disponen (o incorporan en sus soluciones computacionales) una plataforma Business Intelligence (BI), o un Bus de Servicios Empresariales (ESB) para la extracción y/o análisis de sus datos.

² Conocido también como análisis de sensibilidad.

³ El modelo tiene validez mientras las condiciones en las cuales fue creado continúan.

importante es que el tiempo transcurrido entre la toma de datos y la validación del modelo, debe ser el menor posible, de tal modo que la información obtenida de la simulación represente de la mejor manera la realidad actual del proceso modelado.

Puesto que los procesos generalmente requieren mejoras continuas y cambian con el tiempo, se planteó el desafío de alimentar el modelo computarizado de forma más automatizada, es decir, conectar la fuente de datos con su análisis y la alimentación del modelo para generar un ciclo más abreviado del proceso de simulación. Para lograr lo anterior, primero se revisó si los software más utilizados en simulación de procesos, alimentaban en línea el modelo. Puesto que estos no alcanzaban los objetivos planteados, se buscó otra alternativa. Para ello, se generó un código de programación en el software R[2] que permite: 1) Conectarse con base de datos; 2) Analizar los datos (imputación de datos faltantes, estadística descriptiva, test de independencia, pruebas de bondad de ajuste y análisis de sensibilidad), lo que permite transformar los datos en información para la parametrización y verificación operacional del modelo y 3) Alimentar un programa de simulación que contiene el modelo del proceso estudiado (en este caso, SDLPS). Un resumen de este ciclo se muestra la Figure N° 3.

La elección de R se basa en su capacidad para:

- Leer una gran variedad de archivos externos (txt, cvs, xml, dbf, binaris, imágenes, entre otros) y archivos comprimidos (gzfile y bzfile).
- Conectarse con distintas bases de datos (SAP HANA, Oracle, PostgreSQL, MySQL, Microsoft SQL Server, SQLite e IBM DB2) en múltiples sistemas operativos
- Invocarse desde una serie de lenguajes de programación (Java, C, C ++, Python)
- Conectarse a una red usando programación.
- Conectarse a un hipervínculo específico de una página web para recoger los datos.
- Capacidad de procesar grandes volúmenes de datos y su avance en Big Data
- Su potencialidad para realizar una gran gama de análisis estadísticos, matemático y su desarrollo con otras aplicaciones tales como Tableau, Microsoft, PowerBI, etc.

Mientras que se optó por SDLPS porque:

- Permite simular modelos descritos en un lenguaje de representación formal, tal como lo es el Lenguaje de Descripción y Especificación (SDL)
- Tiene herramientas que permite capturar datos e información desde R
- Generar archivos con los resultados de la simulación, facilitando la validación y verificación del modelo.

Todo lo anterior permite:

- Facilitar la verificación y validación del modelo.
- Monitorear el estado actual del sistema un mayor número de veces.
- Colaborar en el entendimiento, entrenamiento y aprendizaje del sistema.
- Mejorar los procesos, probando distintos escenarios en menor tiempo y costo.
- Realizar diseños de experimentos de forma más temprana.

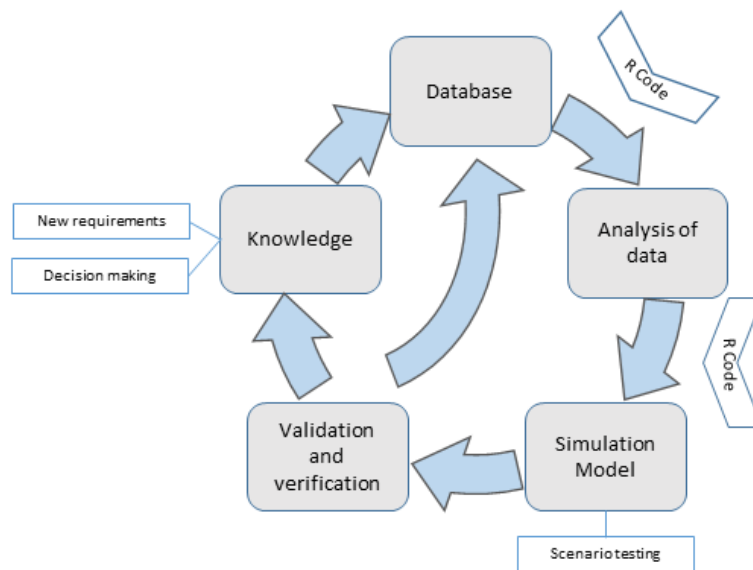


Figure N° 2. Ciclo continuo evaluación, actualización y experimentación de un sistema

Se decidió aplicar esta metodología en un hospital público, puesto que son instituciones de alta complejidad operativa, con una creciente demanda, limitación en sus recursos y metas sanitarias que apuntan a mejorar la equidad en el acceso a la salud, la eficiencia en el uso de los recursos, la efectividad de las actividades de salud y la satisfacción usuaria. Algunas de las causas que afectan el adecuado funcionamiento de los procesos de un hospital son: 1) No existe documentación formal de cómo ejecutarlos (manuales, protocolos, guías, procedimientos, etc.) o existiendo esta documentación, no se encuentra actualizada; 2) No existe una estandarización de algunas tareas (clínico y/o administrativas) realizadas; 3) Hay informalidad en los canales de comunicación utilizados y en la información transmitida y 4) Existe falta de medición, análisis y mejora continua de sus actividades. Otro factor que influyó en la elección, es que el Ministerio de Salud (MINSAL) de Chile, ha impulsado en los hospitales públicos, la Gestión por procesos, incorporando en sus metas sanitarias, el modelamiento, análisis y mejora del servicio. En particular se trabajó con el proceso de Atención quirúrgica del paciente del Hospital Dr. Gustavo Fricke de Viña del Mar, Chile.

2. Literature review

Al revisar la literatura respecto al modelamiento, simulación y mejora de procesos, la gran mayoría de los trabajos realizados en el área clínica, se centran en analizar problemas de tiempos de espera, funcionamiento de unidades y asignación de recursos, entre otros aspectos, sin considerar actualización automatizada del modelo. Dichos estudios [3]–[41], por citar algunos, obtienen los datos y/o alimentan el modelo de forma manual. Por otra parte, los programas o lenguajes de simulación de procesos más utilizados se encuentran (i) lenguajes de programación, tales como: C[10]; Matlab [27]; Visual Basic y Java[18] y (ii) aplicaciones, tales como: Arena de Rockwell[9][11]; Extend[28]; Flexsim[23], [29]; ProModel[16],[42]; Simio[22], [43]; Simul8[30], [31]; Witness[19], entre otros.

Considerando el objetivo de automatizar la alimentación del modelo y basado en el Modelo Sistémico de Calidad[1]⁴, se evaluó en los softwares previamente mencionados, las siguientes funcionalidades: a) Conexión: Acceso, importación o ingreso de los datos; b) Análisis de datos: Imputación de datos, evaluar la independencia y ajustar distribuciones de probabilidad y c) Alimentación del modelo de simulación: Incorporar información (distribuciones de probabilidad y sus parámetros) o datos del sistema, para las variables incorporadas en el modelo de simulación. Esta evaluación se muestra en la Table N° 2.

Se puede observar que en la categoría “Conexión” que 4 de los 9 software revisados (44%), disponen la funcionalidad “Conexión con base de datos” (tres de ellos además permiten la “Importación de datos desde archivos externos”). En la categoría “Análisis de datos”, 3 de los 9 (33%) disponen de algunas de las funcionalidades evaluadas para la Evaluación de la independencia y el Ajuste de distribuciones de probabilidad. En la categoría “Alimentación del modelo”, 1 de los 9 (11%) permite una “Parametrización automática”.

Si se considera el conjunto de las funcionalidades evaluadas, es decir, Conexión, Análisis de datos y Alimentación del modelo (automática), ninguno de los softwares logran cubrir por completo estas necesidades, siendo ExtendSim (53%), seguido por ProModel y SDLPS (47%) los más completos. Para ExtendSim y ProModel el “Análisis de datos” se debe realizar mediante componentes embebidos, que no se conectan con el modelo, por lo que igualmente se debe parametrizar manualmente para la primera simulación y cada vez que exista calibración (cambios en los parámetros). Por lo anterior expuesto, se hace necesario una alternativa que mejore el proceso de conexión, análisis estadístico y alimentación del modelo.

Table N° 1. Evaluación de las funcionalidades de Conexión, Análisis estadístico y Alimentación del modelo

Categoría	Funcionalidad	Métrica y puntuación	Arena [44],[45]	Bizagi [46],[47]	ExtendSim [48]	Flexsim [49], [50]	ProModel [42],[51], [52]	SDLPS [53]	Simio [43], [54], [55]	Simul8 [56], [57]	Witness [58]
Conexión	Acceso, importación o ingreso de los datos	CBD: 3 puntos IAE: 2 puntos IMA: 1 punto	2	3	3	2	2	2	2	3	3
Análisis de datos	Imputación de datos	CA:2 puntos RM: 1 punto NP: Sin puntuación									
	Histogramas				1		1	1			
	Gráficos de dispersión				1		1	1			
	Función de Autocorrelación ⁶				1		1				
	Indicadores de resumen ⁷				1		1	1			
	Test de Bondad de ajuste ⁸				1		1				
Alimentación del modelo	Distribución de probabilidad y parámetros		1	1	1	1	1	2	1	1	1
	Datos		1	1	1	1	1	2	1	1	1
Evaluación de las funcionalidades	Puntaje		4	5	10	4	9	9	4	5	5
	Cumplimiento		21%	26%	53%	21%	47%	47%	21%	26%	26%

⁴ Prototype of Software Quality Systemic Model (SQSM)

⁵ Permite agregar funcionalidades mediante librerías C adjuntas.

⁶ Test de Box-Ljung, Prueba T

⁷ Medidas de tendencia central, de dispersión y de forma.

⁸ Kolmogorov-Smirnov, Chi-Cuadrado, Test de rachas.

Conexión con base de datos (CBD)⁹, Importación de datos desde archivos externos (IAE)¹⁰, Ingreso manual de datos (IMA). Configuración Automática (CA), Realización Manual (RM), No Posee funcionalidad (NP)
Para un software que cumple más de una métrica en una determinada funcionalidad, se asignó sólo la de mayor puntaje.

En términos tecnológicos, la implementación de plataformas de integración, normativas y estándares ha facilitado la comunicación entre diferentes sistemas y aplicaciones de software, simplificando el trabajo de acceso a los datos, conexiones, sincronizaciones en sistemas distribuidos, continuidad del servicio, seguridad de la información y actualización de la información. Así mismo, el avance tecnológico de interconexión digital de hardware con aplicaciones, ha permitido conectar equipamiento y dispositivos a sistemas de información, permitiendo su identificación, control, gestión y explotación de datos. Estas tecnologías están contribuyendo al desarrollo de ciudades inteligentes (Smartcity), territorios inteligentes, edificios inteligentes (Inmótica), etc., siendo aplicada en muchos lugares e instituciones alrededor del mundo. Todo lo anterior, enriquece la alimentación en línea de los modelos de simulación.

3. Descripción de la Metodología

A continuación se describe los pasos de la metodología, desde la Conexión a la base de datos hasta la alimentación del modelo. Tal como se mencionó previamente, se aplicó a un proceso de un hospital Chileno, en Específico al proceso de Atención Quirúrgica del Hospital Dr. Gustavo de Viña del Mar. La modelación del proceso realizó mediante el Lenguaje de Descripción y Especificación de Sistemas (SDL) [59] con Microsoft Visio y la simulación en el software SDLPS [60].

3.1. Conexión con base de datos

Para conectarse con Sistemas de Gestión de Bases de Datos (DBMS) tales como Oracle, IBM DB2, Microsoft SQL Server, MySQL, Microsoft Access y/o capturar datos desde hojas de cálculo y Archivos de formato abierto, R dispone de varias alternativas de paquetes[61][62] que deben cargarse junto a sus librerías para ser empleados. Algunos de ellos son genéricos en términos de base de datos, tales como RODBC[63] y DBI[64] y otros específicos tales como ROracle, RPostgreSQL, RJDDBC, RSQLite, RMySQL. Se pueden utilizar sobre Windows, Unix, Linux, OS X y la mayoría de los tipos de base de datos.

En el caso utilizado en este estudio, el Hospital dispone un sistema cuya base de datos se gestiona mediante PostgreSQL, por lo que se utilizó el paquete DBI¹¹ para conectarse y desconectarse de la base de datos y RPostgreSQL para revisar las tablas y sus variables, además de leer y extraer datos a través de la consultas SQL¹²[65][66] con la función dbSendQuery.

3.2. Análisis de datos

Para evaluar los datos, R ofrece una batería de herramientas tanto para la transformación y depuración (con las cuales se puede separar, extraer, concatenar,

⁹ PostgreSQL, MySQL, u otra. Para los software que dispongan de IAE y CBD, solo se contabilizará está última categoría por ser la de mayor puntaje.

¹⁰ Archivos de formato abierto (.txt o .csv), Excel (.xls o .xlsx), Ascii (.dat) u otros.

¹¹ Database Interface

¹² Structured Query Language

recodificación, transformar y eliminar datos, además de trabajar en forma matricial, mediante listas u hojas de trabajos, entre otras alternativas) como para el análisis estadístico (imputación de datos, estadística descriptiva, estadística no paramétrica, inferencia, etc.).

En nuestro caso, se generó un código en R¹³ con la siguiente batería de análisis[67][68][69]:

- Transformación y depuración de datos: Transformación de datos de fecha (paquete Lubridate), Generación de datos (tiempo entre llegadas y tiempos entre servicios), Imputación de datos (se empleó el Método RHD¹⁴, cuyo código se basó en [70]).
- Evaluación de la independencia: Histogramas, Gráficos de dispersión, Función de Autocorrelación y Test de Box-Ljung.
- Selección de la distribución: Histogramas, Gráficos (Histogramas y de barra), Medidas de tendencia central, dispersión y forma (paquete Moments), Test de Bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov y Test Chi-Cuadrado.
- Estimación de parámetros: Estimación a través del método máximo verosímil (paquete MASS)

Una vez seleccionadas las distribuciones de probabilidad de las variables involucradas en el modelo, se generan sus parámetros y se almacenan en archivos de formato libre tipo “cvs”, para ser leídos posteriormente por el modelo en el software de simulación.

3.3. Alimentación del modelo

El modelo generado en SDL puede ser leído, editado y simulado en SDLPS. Adicionalmente se generó un Código en lenguaje C¹⁵ con las distribuciones de probabilidad de las variables del proceso, que se ejecuta a través de procedimientos de SDL y genera valores aleatorios (tiempos de espera, de servicio, tipo de prestación u otros) en función de las distribuciones y parámetros definidos en el análisis estadístico de los datos.

Para la lectura de los parámetros, se utilizó la función “Report” de SDLPS. Esta permite leer los archivos tipo “cvs” generados en R. De esta manera, cuando se simula el proceso, el modelo captura los parámetros desde el archivo “cvs”, los asigna a las variables declaradas en él y esta información es utilizada por el código C para generar valores aleatorios, los cuales se emplean para realizar los eventos definidos.

3.4. Verificación y validación operacional del modelo[1],[71],[72],[73]:

Para la verificación y validación operacional del modelo, se pueden utilizar las siguientes funcionalidades de SDLPS:

- Leer datos y/o información desde R (tal como se mencionó previamente)
- Generar un archivo archivos “txt” con la trazabilidad de los eventos de la simulación y estados de las variables.
- Generar archivo “cvs” con datos asociados a las variables, una realizada la simulación y/o experimentación con el modelo.

¹³ Disponible en [www...](#)

¹⁴ Random Hot Deck

¹⁵ Disponible en [www...](#)

Para el ejemplo del hospital, realizamos la siguiente verificación y validación operacional:

- **Verificación:** Se generaron en R valores y parámetros ficticios, los cuales alimentaron el modelo. Luego se simuló el sistema y se obtuvo la trazabilidad de los eventos generados (lista de sucesos, los valores de las variables de estado, etc.) las cuales se revisaron para determinar si el modelo reprodujo adecuadamente la lógica de los procesos del sistema.
- **Validación Operacional:** Se realizó un Análisis de sensibilidad. Para ello, se definió un espacio paramétrico para algunas distintas variables del modelo, se simularon y compararon los resultados. Además se comparó los resultados del modelo con los del sistema real, usando los mismos datos. Para ello, se alimentó el modelo con datos en vez de parámetros de las distribuciones. Posteriormente se compararon los resultados a través de histogramas, medias, varianzas, intervalos de confianza y pruebas de hipótesis.

Puesto que SDL permite la modelación por bloques, la validación y verificación del modelo también puede realizarse de forma modular, sin necesidad de esperar a tener todo el modelo desarrollado. Lo anterior permite detectar errores tan pronto como sea posible en el ciclo de modelación y simulación y focalizarse en corregir por áreas, para posteriormente realizarlo en forma global con el modelo completo. La conexión de R con la base de datos facilita además la actualización de estos, contribuyendo a la validación de los datos.

Un resumen de la metodología se presenta en la Figure N° 4. La base de datos del hospital se gestiona en Postgre. A través de R se conecta a la base de datos y se obtienen los datos originales, luego se realiza una depuración de los datos (selección, transformación e imputación) obteniéndose datos depurados, posteriormente se evalúa la tendencia e independencia y se realizan los test de bondad de ajuste y estimación de parámetros. Esta información queda guardada en archivos que son leídos desde SDLPS para alimentar el modelo y realizar la simulación y/o experimentación del sistema. El modelo genera salidas de su comportamiento que se utilizan para su validación y verificación. Finalmente se realizan los ajustes necesarios (modelo, datos y/o parámetros) y se reinicia el ciclo, repitiendo las veces que sea necesario hasta obtener un modelo que cumpla los objetivos para el cual fue desarrollado.

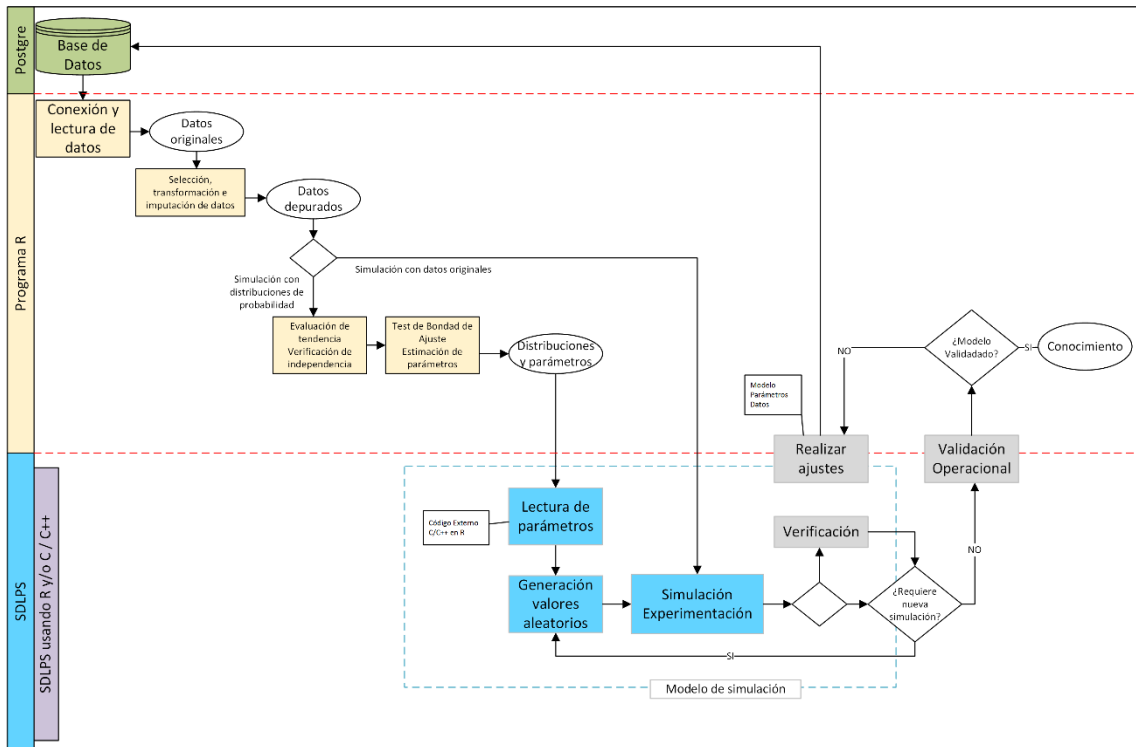


Figure N° 3. Resumen de la obtención de datos y alimentación del modelo

4. Aplicación a un Proceso Quirúrgico

5. Discussion

Entre los siguientes pasos investigativos para potenciar esta metodología están:

- Generalizar la etapa del análisis de datos para que se independice del software que se emplea para realizarlo (en nuestro caso R). Para este propósito se puede considerar la potencialidad de extensión del lenguaje SDL (usando por ejemplo, la creación de clases). Esto permitiría ejecutar desde el software de simulación la lectura de datos e información, automatizando aún más la metodología.
- Estudiar herramientas, estándares y normativas la seguridad de la información electrónica a fin de asegurar la adecuada interoperabilidad entre el modelo y las fuentes de información.
- Alimentar el modelo en tiempo real con datos que genera el equipamiento, sensores y/o dispositivos inteligentes utilizados los distintos procesos. En la actualidad existe varias tendencias tecnológicas, tales como el Big Data, Internet de las Cosas (IoT), Fábricas Inteligentes (Smart Factory), Industrie 4.0, entre otras; Modelos de arquitectura de referencia¹⁶ tales como RAMI 4.0 e IIRA y estándares de interoperabilidad que permiten la transmisión y uso de datos.

6. Bibliography

- [1] R. G. Sargent, "Verification and Validation of Simulation Models," *Proc. 2007 Winter Simul. Conf.*, pp. 124–137, 2007.
- [2] The R Foundation, "r-project." [Online]. Available: <https://www.r-project.org>. [Accessed: 29-Jan-2018].
- [3] F. Dexter, A. Macario, D. A. Lubarsky, and D. D. Burns, "Statistical Method to Evaluate Management Strategies to Decrease Variability in Operating Room Utilization Simulation to Operating Room Management," *Anesthesiology*, vol. 91, pp. 262–74, 1999.
- [4] J. B. Tucker, J. E. Barone, J. Cecere, R. G. Blabey, and C. K. Rha, "Using queueing theory to determine operating room staffing needs.," *J. Trauma*, vol. 46, no. 1, pp. 71–9, 1999.
- [5] F. Dexter, J. T. Blake, D. H. Penning, B. Sloan, P. Chung, and D. A. Lubarsky, "Use of Linear Programming to Estimate Impact of Changes Perioperative Variable Costs," *Anesthesiology*, vol. 96, no. 3, pp. 718–724, 2002.
- [6] J. E. Everett, "A decision support simulation model for the management of an elective surgery waiting system," *Health Care Manag. Sci.*, vol. 5, no. 2, pp. 89–95, 2002.

¹⁶ Documentos que ofrecen estructuras e integraciones recomendadas de productos y servicios de TI para formar una solución. Incorporan las mejores prácticas aceptadas del sector.

- [7] J. Bernal G., Juan; Martínez M., Soledad; Sánchez G., "Simulación del funcionamiento de la lista de espera quirúrgica en el Servicio Murciano de Salud," in *Anales de economía aplicada*, 2005, p. 19.
- [8] A. Sciomachen, E. Tanfani, and A. Testi, "Simulation models for optimal schedules of operating theatres," *Int. J. Simul. Syst. Sci. Technol.*, vol. 6, no. 12–13, pp. 26–34, 2005.
- [9] S. M. Ballard and M. E. Kuhl, "The use of simulation to determine maximum capacity in the surgical suite operating room," in *Proceedings - Winter Simulation Conference*, 2006, pp. 433–438.
- [10] B. T. Denton, A. S. Rahman, H. Nelson, and A. C. Bailey, "Simulation of a multiple operating room surgical suite," in *Proceedings - Winter Simulation Conference*, 2006, pp. 414–424.
- [11] A. Baumgart, A. Zoeller, C. Denz, H.-J. Bender, A. Heinzl, and E. Baddreddin, "Using Computer Simulation in Operating Room Management: Impacts of Information Quality on Process Performance," *Model. Simul. Vis. Methods (WMSVM), 2010 Second Int. Conf.*, vol. Proceeing, pp. 293–296, 2007.
- [12] P. T. Vanberkel and J. T. Blake, "A comprehensive simulation for wait time reduction and capacity planning applied in general surgery," *Health Care Manag. Sci.*, vol. 10, no. 4, pp. 373–385, 2007.
- [13] M. Ashby, D. Ferrin, M. Miller, and N. Shahi, "Discrete event simulation: Optimizing patient flow and redesign in a replacement facility," in *Proceedings - Winter Simulation Conference*, 2008, pp. 1632–1636.
- [14] N. Suzuki and A. Hattori, "The road to surgical simulation and surgical navigation," *Virtual Real.*, vol. 12, no. 4, pp. 281–291, 2008.
- [15] J. M. van Oostrum *et al.*, "A simulation model for determining the optimal size of emergency teams on call in the operating room at night," *Anesth Analg*, vol. 107, no. 5, pp. 1655–1662, 2008.
- [16] J. C. Lowery and J. A. Davis, "Determination of operating room requirements using simulation," in *1999 Winter Simulation Conference Proceedings (WSC)*, 1999, vol. 2, pp. 1568–1572.
- [17] M. A. Ahmed and T. M. Alkhamis, "Simulation optimization for an emergency department healthcare unit in Kuwait," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 198, no. 3, pp. 936–942, 2009.
- [18] M. Persson and J. A. Persson, "Health economic modeling to support surgery management at a Swedish hospital," *Omega*, vol. 37, no. 4, pp. 853–863, 2009.
- [19] Q. Niu, Q. Peng, and T. Y. ElMekkawy, "Improvement in the operating room efficiency using Tabu search in simulation," *Bus. Process Manag. J.*, vol. 19, no. 5, pp. 799–818, 2013.
- [20] K. Steins, F. Persson, and M. Holmer, "Increasing Utilization in a Hospital Operating Department Using Simulation Modeling," *Simulation*, vol. 86, no. 8–9, pp. 463–480, 2010.
- [21] Y. Su and N. S. N. Shen, "Modeling the Effects of Information Quality on Process Performance in Operating Rooms," *Comput. Model. Simul. (UKSim), 2010 12th Int. Conf.*, 2010.
- [22] Q. Zheng, J. Shen, Z. Q. Liu, K. Fang, and W. Xiang, "Resource allocation simulation on operating rooms of hospital," in *2011 IEEE 18th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IE and EM 2011*, 2011, no. PART 3, pp. 1744–1748.
- [23] L. Cassettari, M. Mosca, R. Mosca, and F. Rolando, "An Healthcare Process Reengineering Using Discrete Event Simulation," *Proceeding World Congr. Eng. Comput. Sci.*, vol. II, pp. 23–25, 2013.
- [24] W. Weerawat, J. Pichitlamken, and P. Subsombat, "A generic discrete-event simulation model for outpatient clinics in a large public hospital," *J. Healthc. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 285–305, 2013.
- [25] P. DeRienzo, Chris; Tanaka, David; Lada, Emily; Meanor, "Creating a SimNICU: Using

- SAS Simulation Studio to Model Staffing Needs in Clinical Environments,” in *SAS Global Forum*, 2014, p. 1361.
- [26] D. Clissold, Anthony; Filar, Jerzy; Mackay, Mark; Qin, Shaowen; Ward, “Simulating hospital patient flow for insight and improvement,” in *8th Australasian Workshop on Health Informatics and Knowledge Management*, 2015, pp. 27–30.
- [27] B. Shaw and A. H. Marshall, “Modelling the flow of congestive heart failure patients through a hospital system,” *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 58, no. 2, pp. 212–218, 2007.
- [28] H. Fei, N. Meskens, and C. Chu, “An operating theatre planning and scheduling problem in the case of a ‘block scheduling’ strategy,” in *Service Systems and Service Management, 2006 International Conference on*, 2006, vol. 1, pp. 422–428.
- [29] S. Almagooshi, “Simulation Modelling in Healthcare: Challenges and Trends,” *Procedia Manuf.*, vol. 3, no. Ahfe, pp. 301–307, 2015.
- [30] M. Amador, “Scenarios Planning with Discrete Event Simulation Model applied to a Nuclear Medicine Unit,” Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal, 2012.
- [31] G. K. Mastan, Mohammed; Raikundalia, “Usability evaluation of a discrete eventbased visual hospital management Simulator,” *Heal. Informatics- An Int. J.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–21, 2014.
- [32] Y. Su and L. Al-Hakim, “Using Computer Simulation in Operating Room Management: Impacts of Information Quality on Process Performance,” *Model. Simul. Vis. Methods (WMSVM), 2010 Second Int. Conf.*, pp. 293–296, 2010.
- [33] C. E. Lucas *et al.*, “Mathematical modeling to define optimum operating room staffing needs for trauma centers,” *J. Am. Coll. Surg.*, vol. 192, no. 5, pp. 559–565, 2001.
- [34] B. Cardoen, E. Demeulemeester, and J. Beliën, “Operating room planning and scheduling: A literature review,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 201, pp. 921–932, 2009.
- [35] B. Cardoen, E. Demeulemeester, and J. Beliën, “Operating room planning and scheduling: A literature review,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 201, no. 3, pp. 921–932, 2010.
- [36] A. Jeang and A. J. Chiang, “Economic and quality scheduling for effective utilization of operating rooms,” *J. Med. Syst.*, vol. 36, no. 3, pp. 1205–1222, 2012.
- [37] A. Jebali, A. B. Hadj Alouane, and P. Ladet, “Operating rooms scheduling,” in *International Journal of Production Economics*, 2006, vol. 99, no. 1–2, pp. 52–62.
- [38] F. Dexter, A. Macario, and L. O. ’ Neill, “Scheduling Surgical Cases into Overflow Block Time— Computer Simulation of the Effects of Scheduling Strategies on Operating Room Labor Costs,” *Anseht Analg.*, vol. 90, pp. 980–8, 2000.
- [39] R. J. Kusters and P. M. A. Groot, “Modelling resource availability in general hospitals design and implementation of a decision support model,” 1996.
- [40] R. Sibbel and C. Urban, “Agent-based modeling and simulation for hospital management,” *Coop. Agents*, 2001.
- [41] C. Sepúlveda, Juan; Berroeta, “Reglas de decisión para la selección de sistemas de citas basadas en características del paciente y de la institución de salud,” *Rev. Med. Chil.*, vol. 140, no. 7, pp. 867–872, 2012.
- [42] L. García, Eduardo; García, Heriberto; Cárdenas, *Simulación y análisis de sistemas con ProModel*, First. Ciudad de México, 2006.
- [43] D. Kelton, David; Smith, Jeffrey; Sturrock, David; Muñoz, *Simio y Simulación: Modelado, Análisis, aplicaciones*, Second. 2012.
- [44] S. D. Kelton, David; Sadowski, Randall; Sadowski, *Simulación con software Arena*, Fourth. 2008.
- [45] D. Kelton, David; Sadowski, Randall; Sadowski, *Simulation with Arena*, Second. 2002.
- [46] Bizagi, “Products Bizagi.” [Online]. Available: <http://www.bizagi.com/es/productos/bpm-suite/modeler#DownMod>. [Accessed: 01-Mar-2016].
- [47] Bizagi, “Bizagi Process Modeler - Guía de Usuario.” [Online]. Available: http://download.bizagi.com/docs/modeler/2511/es/Modeler_manual_del_usuario.pdf. [Accessed: 01-Mar-2016].
- [48] I. Imagine That, “ExtendSim Product Information.” [Online]. Available:

- http://www.extendsim.com/downloads/marketing/ExtendSim_ProductInfo.pdf. [Accessed: 01-Feb-2017].
- [49] FlexSim, "Products Flexsim." [Online]. Available: www.flexsim.com/es/. [Accessed: 01-Apr-2016].
- [50] FlexSim, "Tutorial Flexsim." [Online]. Available: www.flexsim.com/es/textbook/#textbook-downloads. [Accessed: 01-Apr-2016].
- [51] Simulart, "Products Promodel." [Online]. Available: <http://www.simulart.cl/software-de-simulacion/>. [Accessed: 01-Apr-2016].
- [52] Simulart, "Statfit Software." [Online]. Available: <http://www.simulart.cl/software-de-simulacion/software-statfit/>. [Accessed: 01-Apr-2016].
- [53] P. Fonseca i Casas, "SDL distributed simulator," in *Winter Simulation Conference 2008*, 2008.
- [54] S. LLC, "Papers Simio." [Online]. Available: <http://www.simio.com/resources/papers/>. [Accessed: 01-Apr-2016].
- [55] S. LLC, "About Simio." [Online]. Available: <http://www.simio.com/about-simio/why-simio/simio-RPS-fast-ROI-with-rapid-implementation.php>. [Accessed: 01-Apr-2016].
- [56] Simul8 Corporation, "Products Simul8," 2016. [Online]. Available: <http://www.simul8.es/productos.htm>. [Accessed: 01-Mar-2016].
- [57] Simul8 Corporation, "Manual and Simulation Guide Simul8," 2016. [Online]. Available: http://eduportal.dmst.aueb.gr/html/det/manual_13795.pdf. [Accessed: 01-Mar-2016].
- [58] Universidad de Valladolid, "Manual básico de Witness," 2016.
- [59] ITU Telecommunication Standardization Sector, "ITU-T / Specification and Description Language (SDL)," 2010. [Online]. Available: <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=3153&lang=en>. [Accessed: 11-Oct-2017].
- [60] P. Fonseca i Casas, "SDLPS," 2017. [Online]. Available: <http://sdlps.upc.edu/>. [Accessed: 12-Oct-2017].
- [61] The R Foundation, "Available CRAN Packages By Date of Publication." [Online]. Available: https://cran.r-project.org/web/packages/available_packages_by_date.html. [Accessed: 22-Feb-2017].
- [62] A. Miñarro, "Antonio," 2013.
- [63] B. Ripley, "ODBC Connectivity," 2016. [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/RODBC/vignettes/RODBC.pdf>. [Accessed: 22-Feb-2017].
- [64] The R Foundation, "Package DBI," 2016. [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/DBI/index.html>. [Accessed: 22-Feb-2017].
- [65] J. Conway, D. Eddelbuettel, T. Nishiyam, S. K. Prayaga, and N. Tiffin, "CRAN - Package RPostgreSQL," *CRAN*. 2013.
- [66] D. a James, "An R / S Interface to the MySQL Database," *Access*, pp. 1–12, 2001.
- [67] M. Febrero, P. Galeano, J. González, and B. Pateiro, *Prácticas de Estadística en R*. Departamento de Estadística e Investigación Operativa Universidad de Santiago de Compostela.
- [68] T. R. Foundation, "Package MASS," 2016. [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/MASS/MASS.pdf>. [Accessed: 03-Mar-2017].
- [69] The R Foundation, "Package rriskDistributions," 2016. [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/rriskDistributions/rriskDistributions.pdf>. [Accessed: 03-Mar-2017].
- [70] F. J. Muñoz Rosas and E. Álvarez Verdejo, "Métodos de imputación para el tratamiento de datos faltantes: Aplicación mediante R/Splus," *Rev. Metod. Cuantitativos para la Econ. y la Empres.*, vol. 7, pp. 3–30, 2009.
- [71] R. G. Sargent, "Verifying and validating simulation models," in *Proceedings - Winter*

- Simulation Conference*, 2015, vol. 2015–Janua, pp. 118–131.
- [72] O. Balci, “Golden Rules of Verification, Validation, Testing, and Certification of Modeling and Simulation Applications,” *SCS M&S Mag.*, vol. 1, no. 4, 2010.
 - [73] P. Fonseca i Casas, “Simulation hypotheses A proposed taxonomy for the hypotheses used in a simulation model,” in *SIMUL 2011 : The Third International Conference on Advances in System Simulation*, 2011, pp. 114–119.
 - [74] X. Fonseca i Casas, Pau; Casanovas, Josep; Ferran, “Passenger flow simulation in a hub airport: An application to the Barcelona International Airport,” *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 44, pp. 78–94, 2014.
 - [75] J. L. Romero Gázquez, “Prueba de Plataformas para el Desarrollo de Aplicaciones de la Internet de las Cosas,” Universidad Politécnica de Cartagena - España, 2015.

7. Biography

Statistical Jorge Leiva Olmos
Doctor. Gustavo Fricke Hospital
Alvares 1532
Viña del Mar, 2570017
Chile
jorge.leiva.olmos@redsalud.gob.cl

Jorge Leiva Olmos works in Unit Process of Hospital Dr. Gustavo Fricke, Viña del Mar, Chile (working at the hospital since 1999) and professor at the Department of Mathematics of the University of Playa Ancha, Valparaíso, Chile, teaching in Statistics. Titled in statistic in 1999 (University of Playa Ancha, Chile), master degree in statistical in 2007 (University of Valparaíso, Chile), master degree in Statistics and operations research in 2011 (Polytechnic University of Catalonia and University of Barcelona, Spain) and current student in Ph.D Statistics and operations research in Polytechnic University of Catalonia.

Professor Pau Fonseca i Casas
Department of Statistics and Operations Research
Universitat Politècnica de Catalunya
Jordi Girona 1-3
Barcelona, Catalunya, 08034
Spain

Pau Fonseca i Casas is a Professor of the Department of Statistics and Operational research of the Technical University of Catalonia, teaching in Statistics and Simulation areas. He obtained his master degree in computer engineering on 1999 and his Ph.D. on 2007 from Technical University of Catalonia. He also works in the InLab FIB (<http://inlab.fib.upc.edu/>) as a head of the Environmental Simulation area, developing Simulation projects since 1998. He is member of LogiSim group, dedicated to the research and development of simulation tools and projects. His website is <http://www-eio.upc.es/~pau/>. His research interests are discrete simulation applied to industrial, environmental and social models, and the formal representation of such models.

Professor Jordi Ocaña Rebull

Department of Statistics
Universitat de Barcelona
Av. Diagonal 643
Barcelona, Catalunya, 08028
Spain
jocana@ub.edu

Jordi Ocaña Rebull is a professor at the Department of Statistics of the University of Barcelona (UB). He obtained his Ph. D. in 1981 from the UB. His teaching and research activities are centered mainly in two statistical areas: Computer Intensive Methods and Biostatistics. He is the director of the Summer School of the Interuniversity Master in Statistics and Operations Research, an UB/Technical University of Catalonia joint venture (<http://meioup cub.masters.upc.edu/Summer-School>). His research interests include simulation and computer intensive methods in statistics, equivalence testing (bioequivalence, equivalence in simulation models validation, data integration in bioinformatics...) and formal aspects of statistical software (object orientation, design patterns in statistical software...). He is member and cofounder of the research group in Multivariate Analysis and Computational Statistics of the UB.

<https://cran.r-project.org/web/packages/moments/moments.pdf>

<https://cran.r-project.org/web/packages/RPostgreSQL/RPostgreSQL.pdf>

<https://cran.r-project.org/web/packages/lubridate/lubridate.pdf>

El arte de programar en R: un lenguaje para la estadística Julio Sergio Santana
Noviembre de 2014
Julio Sergio, Santana Sepúlveda y Efraín Mateos Farfán.. -- México : Instituto Mexicano
de Tecnología del Agua. UNESCO. Comité Nacional Mexicano del
Programa Hidrológico Internacional, ©2014.
182 p. : il.