

Incorporando la perspectiva de proceso mediante *Process Mining* al entrenamiento de destrezas procedurales en educación médica

Incorporating the process perspective through Process Mining into procedural skill training for medical education

Juan Salas-Morales¹, alumno de 4° año.

Ricardo Lira¹, alumno de Magíster.

Jorge Muñoz-Gama¹, profesor asistente.

Rene de la Fuente², profesor asistente adjunto.

Ricardo Fuentes², profesor asociado adjunto.

Marcos Sepúlveda¹, profesor asociado.

¹Departamento de Ciencia de la Computación, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile Chile.

²Departamento de Anestesiología, Escuela de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile.

*Autor para correspondencia: jmun@ing.puc.cl

Juan Salas-Morales¹, 4th year student.

Ricardo Lira¹, Master's student.

Jorge Muñoz-Gama¹, assistant professor.

Rene de la Fuente², adjunct assistant professor.

Ricardo Fuentes², adjunct associate professor.

Marcos Sepúlveda¹, associate professor.

¹Department of Computer Science, Engineering School, Pontificia Universidad Católica de Chile.

²Department of Anesthesiology, School of Medicine, Pontificia Universidad Católica de Chile.

*Corresponding author: jmun@ing.puc.cl

RESUMEN

En el área de la salud, es de vital importancia desarrollar altos niveles de habilidades procedurales a través del entrenamiento con el fin de obtener buenos resultados clínicos en procesos quirúrgicos. Una retroalimentación acorde al procedimiento desarrollado por cada alumno otorga una mayor efectividad al entrenamiento, por lo tanto, es sumamente importante entregar una retroalimentación relevante a cada alumno que le permita mejorar su desempeño. Los métodos de retroalimentación actuales consisten en listas de chequeos y escalas de clasificaciones globales, los cuales deben ser impartidos por profesionales de la salud, lo que involucra un alto costo económico. Sin embargo, estos métodos no logran capturar una perspectiva de proceso, ya que se omiten evaluaciones relevantes tales como etapas realizadas en orden no deseado, partes del proceso repetidas innecesariamente, o tiempos excesivos de transiciones entre etapas. El objetivo de este trabajo es aplicar técnicas de minería de procesos (**Process Mining**) para analizar el procedimiento desde de una perspectiva de proceso, identificando patrones de interés en el procedimiento quirúrgico. Este enfoque se utilizó en forma efectiva para analizar un caso real de entrenamiento de instalación de catéter venoso central, resultando en la identificación de patrones de re-trabajo, desorden, y tiempo. Con este análisis, se puede concluir el potencial real que posee la implementación de técnicas de minería de procesos para la entrega de retroalimentación en entrenamiento de procedimientos quirúrgicos.

Palabras clave: Process Mining, Educación Médica, Procedimientos Quirúrgicos.

ABSTRACT

In the healthcare sector, it is of vital importance to develop a high level of procedural skills through training to achieve good clinical results in surgical procedures. Proper feedback during practices carried out by each student makes training more effective, therefore it is extremely important to provide relevant feedback to improve student performance. Current feedback methods consist of checklists and global rating scales, which must be imparted by healthcare professionals, implying a high economic cost. Nonetheless, these methods fail to capture a process perspective, leaving out valuable performance indicators, such as executing steps in an undesired order, unnecessary repetition of parts of the procedure, or excessive transition times between steps. The main objective of this study is to apply **Process Mining** techniques to analyze a procedure from a process perspective, identifying patterns of interest in the surgical practice. This approach was effectively applied to analyze a real case of training for central venous catheter installation, resulting in the identification of rework, disorder, and time patterns. With this analysis, we conclude that there is real potential in the implementation of process mining techniques to deliver effective feedback during training for surgical procedures.

Key words: Process Mining, Medical Education, Surgical Procedures

1. INTRODUCCIÓN

El entrenamiento de habilidades procedurales es un elemento indispensable en la formación de todo médico. Mejores habilidades técnicas están asociadas a mejores resultados clínicos, y la ausencia de un nivel adecuado de éstas es el factor de error más importante en una operación del área de la salud (Leape et al., 1991) El entrenamiento en ambientes de simulación previo al contacto con pacientes se ha extendido como una práctica efectiva para lograr efectos positivos en el proceso de aprendizaje (Cook et al., 2011). La retroalimentación puede ser entregada por un instructor, un compañero o una computadora, durante o después de la actividad de simulación. Sin embargo, una retroalimentación oral depende de la disponibilidad de un individuo poseedor de habilidades procedurales y la

1. INTRODUCTION

Procedural skill training is an indispensable element in the education of every physician. Improved technical skills are associated with better clinical outcomes, and the lack of adequate skills is the single most important source of error in a healthcare operation (Leape et al., 1991). Training in simulation environments before direct contact with patients has become widespread as an effective practice to achieve positive effects during the learning process (Cook et al., 2011). Feedback can be delivered by an instructor, a peer, or a computer, during or after the simulation activity. However, verbal feedback relies on the availability of an individual competent in procedural skills, with the subjectivity that this may involve.

subjetividad que puede incluir.

El estado de arte para la retroalimentación incluye las listas de chequeos (checklists) y escalas de clasificación global (*global rating scales*, GRS) (Ilgen, Ma, Hatala, & Cook, 2015). Las listas de chequeos dividen el procedimiento en una serie de etapas para marcar cada una de las etapas realizadas por el alumno. Por otro lado, las escalas de clasificación global consideran la evaluación del rendimiento del estudiante en diferentes áreas, entregando una evaluación más cualitativa, pero su fidelidad depende de las características del evaluador. Sin embargo, ambos elementos carecen de una perspectiva orientada al proceso, permitiendo analizar no solo las etapas que definen un procedimiento, pero también las relaciones entre ellas.

La minería de procesos o **Process Mining** (van der Aalst, 2016) es una disciplina emergente que permite analizar la ejecución de un proceso basado en conocimiento extraídos de registros de eventos creados a partir de los datos almacenados en sistemas de información. Adaptar sus técnicas a este contexto médico permitiría complementar la retroalimentación actual con una perspectiva de proceso. Esta perspectiva de proceso nos permitiría identificar elementos tales como, re-trabajo innecesario, desorden en la ejecución de las etapas, y tiempos de desarrollo entre etapas.

Los objetivos principales de la presente investigación es proponer un novedoso método para aplicar técnicas de minería de procesos, identificando patrones deseados y no deseados con respecto a re-trabajo innecesario, desorden en la ejecución, y tiempos de desarrollo, para complementar una retroalimentación del procedimiento quirúrgico utilizando una perspectiva de proceso.

2. MATERIALES Y MÉTODO

2.1 Materiales y datos

Los datos utilizados correspondieron a un programa de entrenamiento de instalación de catéteres venosos centrales (CVC) para orientado a residentes de primer año de anestesiología, medicina de emergencia, cardiología, medicina intensiva y neurología. Este programa es desarrolla en tres etapas:

- I. Instrucción en línea y grabación previa (PRE): consiste en tres clases *online*. Al final de esta etapa, realizan una evaluación escrita y se realiza la grabación de una primera ejecución del procedimiento, que es identificado con la etiqueta PRE.
- II. Sesión de demostración: demostración de todo el procedimiento de la instalación de un CVC realizada por un experto para un grupo de residentes.
- III. Práctica deliberada: los residentes deben completar cuatro sesiones de practica deliberadas, acompañados por

The state-of-the-art for feedback delivery includes checklists and global rating scales (GRS) (Ilgen, Ma, Hatala, & Cook, 2015). The checklists divide the procedure into a series of stages to mark each of the stages performed by the student. On the other hand, global rating scales consider the evaluation of the student's performance in different areas, delivering a more qualitative assessment, although its fidelity depends largely on the characteristics of the evaluator. Nevertheless, both elements lack a process-oriented perspective, which allows the analysis of not only the stages that define a procedure, but also the relationships between them.

Process Mining (van der Aalst, 2016) is an emerging discipline that focuses on the analysis of the execution of a process based on knowledge extracted from event records created from data stored in information systems. Adapting these techniques to a medical context would complement current feedback methods with a process perspective, which enables the identification of elements such as unnecessary re-work, disorder in the execution of stages, and elapsed time between stages.

The main objective of this research is to propose a new method for the application of process mining techniques, identifying desired and undesired patterns regarding unnecessary re-work, execution disorder, and development times that complement surgical procedure feedback from a process perspective.

2. MATERIALS AND METHOD

2.1 Materials and Method

The data used came from a training program for central venous catheter (CVC) installation applied to first-year residents in anesthesiology, emergency medicine, cardiology, intensive care medicine, and neurology. This program is developed in three stages:

- I. Online instruction and pre-recording (PRE): consists of three online classes. At the end of this stage, a written evaluation is performed and a recording of the first performance of the procedure is made, which is identified with the label PRE.
- II. Demonstration session: demonstration of the entire procedure of a CVC installation by an expert for a group of residents.
- III. Deliberate practice: residents must complete four deliberate practice sessions, accompanied by an instructor.

At the end of the course, a second video (identified by the POST tag) of the CVC installation procedure with ultrasonography is recorded for each resident, which is used to evaluate the training program.

In parallel, videos (identified with the EXP label)

un instructor.

Al final del curso, un segundo video (identificado con la etiqueta POST) del procedimiento de instalación de CVC con ultrasonografía es grabado para cada residente, el cual es utilizado para evaluar el programa de entrenamiento.

De forma paralela, se grabaron videos (identificados con la etiqueta EXP) de la ejecución del mismo procedimiento bajo las mismas condiciones por diferentes profesionales de la división de anestesiología, con cinco años de práctica clínica y experiencia en instalación de CVC con ultrasonografía.

2.2 Método

El método propuesto es una adaptación de la metodología genérica de minería de procesos PM2 (van Eck, Lu, Leemans, & van der Aalst, 2015), la cual ha sido aplicada previamente en el área de la salud (Rojas, Munoz-Gama, Sepúlveda, & Capurro, 2016). El método propuesto se descompone en cinco etapas:

I. Grabación en video de los procedimientos (PRE, POST y EXP)

II. Etiquetado de las actividades del procedimiento, incluyendo tiempo de inicio y fin. Para el etiquetado se utilizó el software VCode Vdata, y fue realizado por dos especialistas médicos.

III. Generación del log de eventos, i.e., descripción formal de los procesos utilizada por los algoritmos de minería de procesos.

IV. Descubrimiento del modelo a partir de los datos. Se utilizó la herramienta de minería de procesos Celonis, que implementa un algoritmo de descubrimiento propio basado en los principios del *Heuristic Algorithm* y *Fuzzy Miner* (van der Aalst, 2016).

V. Análisis de los modelos descubiertos, a partir de el filtrado y la composición de modelos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis con orientación de proceso de los procedimientos quirúrgicos entrega diferentes modelos de procesos que muestran los patrones de la ejecución de cada procedimiento. Esta información es útil para el estudiante por qué lo ayuda a centrar su atención y esfuerzo en partes específicas del proceso en las que discrepa con el desarrollado esperado, con el fin de evitar cometer errores en futuras ejecuciones. Para esto se utilizaron diferentes filtros y puntos de vistas para completar los objetivos:

I. Identificar re-trabajo: La Figura 1 permite dar una retroalimentación respecto a las actividades repetidas, comparar la evolución entre PRE y POST del estudiante, y con un experto EXP. En el ejemplo mostrado en la Figura 1, se puede observar un re-trabajo en la fase de la punción venosa con trocar: el estudiante 16F69F en PRE

had been recorded of the execution of the same procedure under the same conditions by different professionals from the anesthesiology division, with five years of clinical practice and experience in CVC installation with ultrasonography.

2.2 Method

The proposed method is an adaptation of the generic PM2 process mining methodology (van Eck, Lu, Leemans, & van der Aalst, 2015), which has been previously applied to the healthcare area (Rojas, Munoz-Gama, Sepúlveda, & Capurro, 2016). The proposed method can be broken down into five stages:

I. Video recording of the procedures (PRE, POST and EXP).

II. Labeling of procedure activities, including start and end time. VCode Vdata software was used for labeling, and was performed by two medical specialists.

III. Generation of the event log, i.e., the formal description of the processes used by the process mining algorithms.

IV. Discovery of the model from the data. We used the Celonis process mining tool, which implements a proprietary discovery algorithm based on the principles of Heuristic Algorithm and Fuzzy Miner (van der Aalst, 2016).

V. Analysis of the discovered models, based on filtering and model composition.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The process-oriented analysis of surgical procedures provides different process models that show their patterns of execution. This information is useful for the student because it helps him/her focus his/her attention and effort on specific parts of the process that deviate from the expected pattern, in order to avoid errors in future executions. To this end, different filters and points of view were used to complete the objectives:

I. Identify re-work: Figure 1 shows feedback regarding repeated activities, comparing the evolution of the student between PRE and POST, and with an expert EXP. In the example shown in Figure 1, a reworking can be observed in the stage of trocar venipuncture: the student 16F69F in PRE performs a first trocar installation unsatisfactorily (Puncture trocar, Drop probe, Remove trocar syringe, Advance guidewire), and has to carry out a second attempt. Also, during the second iteration, the equipment was not left on the sterile zone (Drop probe), contaminating it in case a third attempt is required. Both POST and EXP show the correct behavior as reflected in the literature (Ma, et al., 2012).

II. Identify disorder: Figure 2 provides feedback with respect



Figura 1. Modelo de proceso del estudiante 16F69 en PRE (izquierda) y POST (centro), y experto EXP (derecha) para el análisis de re-trabajo (re-work).

Figure 1. Process model for the student 16F69 in PRE (left) and POST (center), and the expert EXP (right) for re-work analysis..

ejecuta insatisfactoriamente una primera instalación del trocar (*Puncture trocar*, *Drop probe*, *Remove trocar syringe*, *Advance guidewire*), teniendo que realizar un segundo intento. A demás, durante la segunda iteración, no se deja el equipo en la zona estéril correctamente (*Drop probe*), contaminándolo en caso de requerir un tercer intento. Tanto POST como EXP muestran el comportamiento correcto según se refleja en la literatura (Ma, et al., 2012).

II. Identificar desorden: La Figura 2 permite dar una retroalimentación respecto al desorden en la ejecución de las actividades, y, comparar la evolución entre PRE y POST, así como con un experto EXP. En el ejemplo mostrado en la Figura 2, el estudiante 12F67F en PRE realiza las

to instances of disorder in the execution of activities, and compares the evolution between PRE and POST, as well as with an expert EXP. In the example shown in Figure 2, the student 12F67F in PRE performs the activities *Remove trocar* and *Check guidewire* in the wrong order. POST and EXP show the correct order as reflected in the literature (Ma, et al., 2012).

III. Identifying development times: Figure 3 shows feedback regarding activities that the student performs in a longer period of time, and the transitions between activities that take more time than necessary. In the example of Figure 3, the student 45D59F in PRE took longer to perform



Figura 2. Modelo de proceso del estudiante 12F67F en PRE (izquierda) y POST (centro), y experto EXP (derecha) para el análisis de orden.

Figure 2. Process model for the student 12F67F in PRE (left) and POST (center), and the expert EXP (right) for sequence order analysis.

actividades *Remove trocar* y *Check guidewire*. POST y EXP muestran el orden correcto según se refleja en la literatura (Ma, et al., 2012).

III. Identificar tiempos de desarrollo: La Figura 3 permite dar una retroalimentación respecto a las actividades que el alumno realiza en un mayor tiempo, y las transiciones entre actividades que ocupan más tiempo del necesario. En el ejemplo de la Figura 3, se puede observar que el estudiante 45D59F en PRE demoró en realizar *Puncture trocar* más que en POST y EXP, así como se demoró en la transición entre *Remove Trocar* y *Widen pathway* tanto en PRE como POST en comparación con EXP.

Puncture trocar than in POST and EXP, and delayed the transition between *Remove Trocar* and *Widen pathway* in both PRE and POST compared to EXP.



Figura 3. Modelo de proceso del estudiante 45D59F en PRE (izquierda) y POST (centro), y experto EXP (derecha) para el análisis de tiempo

Figure 3. Process model for the student 45D59F in PRE (left) and POST (center), and the expert EXP (right) for the analysis of development time.

4. CONCLUSIONES

El nuevo método propuesto cumple los objetivos planteados: la minería de procesos permite encontrar patrones sobre re-trabajo, desorden, y tiempo en la ejecución de actividades. Esto complementa la retroalimentación de los estudiantes para la de mejora su proceso de entrenamiento.

Complementar la retroalimentación con esta perspectiva de proceso permite entregar una mayor información de los procedimientos realizados por los alumnos, describiendo el procedimiento quirúrgico como un proceso estructurado, y permitiendo comparar los modelos de cada estudiante con un modelo esperad. Esto puede impactar positivamente

4. CONCLUSIONS

The new method proposed meets the objectives formulated at the outset: process mining finds patterns of re-work, disorder, and execution time during training activities. This complements traditional feedback methods to improve the student's training process.

Complementing the feedback with this process perspective provides additional information about the procedures performed by each student, describing the surgical procedure as a structured process, and enabling a direct comparison between the models for each student with an expected expert model. This can have a positive impact on

en el entrenamiento del alumno, permitiendo enfocar sus esfuerzos en tareas focalizadas en las sesiones de practicas deliberadas.

Esta primera aplicación de minería de procesos en entrenamientos médicos es una primera parte de un proyecto más ambicioso (Lira et al., 2018) que incluye intervenciones y validaciones del efecto de la retroalimentación con enfoque de proceso en grupo de alumnos en comparación a la evaluación con GRS. El proyecto propone sistematizar la generación de los análisis para hacer el proyecto escalable para una mayor cantidad de videos (la etiquetación de video es una limitante importante para hacer escalable el método). Con esto sería posible replicar el método en otros programas de entrenamientos médicos. A su vez, el proyecto incluye la modelación de los procesos siguiendo las buenas prácticas mediante la metodología Delphi, y su comparación con las ejecuciones haciendo uso de algoritmos de **Process Mining**.

Agradecimientos

Este trabajo está parcialmente respaldado por CONICYT FONDECYT 181162, CONICYT FONDECYT 11170092, CONICYT REDI 170136, VRI-UC Interdisciplinary II170003 y FONDCC 2017-0001. Juan Salas-Morales agradece encarecidamente a su madre, sin ella no estaría cumpliendo sus sueños, y al profesor Jorge Muñoz, por su apoyo y ayuda incondicional que le ha permitido explotar todo su potencial.

the training process, allowing students to concentrate their efforts on specific tasks during deliberate practice sessions.

This first application of process mining to medical training is an initial stage of a more ambitious project (Lira et al., 2018) that includes interventions and validations of the effects of feedback with a process perspective in a cohort of students compared to the GRS evaluation. The project proposes to systematize the generation of the analyses to make it scalable for a larger number of videos (video tagging is a major limitation to make the method scalable). With this, we could extend the method to other medical training programs. Furthermore, the project includes process modeling following good practices under the Delphi methodology, and its comparison with executions using Process Mining algorithms.

Acknowledgments

This work is partially supported by the following grants: CONICYT FONDECYT 181162, CONICYT FONDECYT 11170092, CONICYT REDI 170136, VRI-UC Interdisciplinary II170003 and FONDCC 2017-0001. Juan Salas-Morales is very grateful to his mother, without whom he would not be fulfilling his dreams; and to Professor Jorge Muñoz, for his support and unconditional help that is allowing him to unfold his full potential.

GLOSARIO

PROCESS MINING: una disciplina emergente que permite analizar la ejecución de un proceso basado en conocimiento extraídos de registros de eventos creados a partir de los datos almacenados en sistemas de información.

CVC: Instalación de Catéteres Venosos Centrales, dispositivos para administración de medicamentos y/o soluciones a través de una vena central.

GLOSSARY

PROCESS MINING: an emerging discipline that enables the analysis of the execution of a process based on knowledge extracted from event logs created from data stored in information systems.

CVC: Installation of Central Venous Catheters, these devices are used for delivering medication and/or fluids through a central vein.

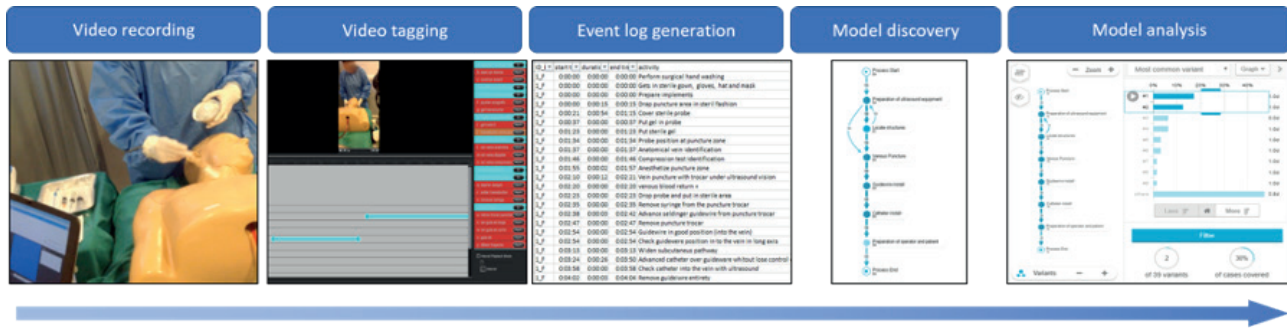


Figure 4. De izquierda a Derecha, grabación de los procedimientos en video, etiquetado de los videos, generación del log de evento, descubrimiento del modelo con Celonis, y por último análisis del modelo.

Figure 4. From left to right, video recording of procedures, video tagging, event log generation, model discovery with Celonis, and model analysis.

PRINCIPIO CIENTÍFICO

El proceso consta de 5 etapas: 1) grabación en video de los procedimientos, 2) etiquetado de las actividades del procedimiento, incluyendo tiempo de inicio y fin, 3) generación del log de eventos, i.e., descripción formal de los procesos utilizada por los algoritmos de minería de procesos, 4) descubrimiento del modelo a partir de los datos usando Celonis, y 5) análisis de los modelos de proceso descubiertos, enfocándose en las perspectivas de re-trabajo, orden, y tiempo.

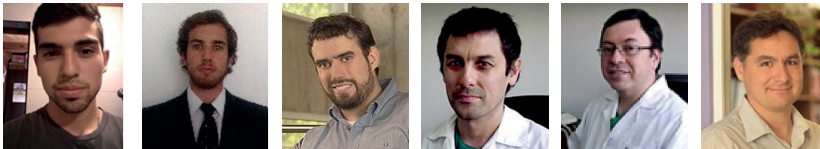
SCIENTIFIC PRINCIPLE

The process consists of 5 stages: 1) video recording of the procedures; 2) labeling of the procedure activities, including beginning and end time; 3) generation of the event log, i.e., formal description of the processes used by the process mining algorithms; 4) discovery of the model from the data using Celonis; and 5) analysis of the discovered process models, focusing on re-work, order, and time.

REFERENCES

- Cook, D. A., Hatala, R., Brydges, R., Zendejas, B., Szostek, J. H., Wang, A. T., ... & Hamstra, S. J. (2011). Technology-enhanced simulation for health professions education. *Jama*, 306(9), 978-988.
- Ilgen, J. S., Ma, I. W., Hatala, R., & Cook, D. A. (2015). A systematic review of validity evidence for checklists versus global rating scales in simulation-based assessment. *Medical education*, 49(2), 161-173.
- Leape, L. L., Brennan, T. A., Laird, N., Lawthers, A. G., Localio, A. R., Barnes, B. A., ... & Hiatt, H. (1991). The nature of adverse events in hospitalized patients. *New England journal of medicine*, 324(6), 377-384.
- Lira, R., Salas-Morales, J., de la Fuente, R., Fuentes, R., Sepúlveda, ... & Muñoz-Gama, J. (2018). Tailored Process Feedback through Process Mining for Surgical Procedures in Medical Training. In *International Workshop on Process-Oriented Data Science for Healthcare*. Springer
- Ma, I. W., Zalunardo, N., Pachev, G., Beran, T., Brown, M., Hatala, R., & McLaughlin, K. (2012). Comparing the use of global rating scale with checklists for the assessment of central venous catheterization skills using simulation. *Advances in health sciences education*, 17(4), 457-470.
- Rojas, E., Muñoz-Gama, J., Sepúlveda, M., & Capurro, D. (2016). Process mining in healthcare. *Journal of biomedical informatics*, 61, 224-236.
- van der Aalst, W.M.P. (2016). *Process Mining*. Berlin: Springer.
- van Eck, M. L., Lu, X., Leemans, S. J., & van der Aalst, W. M. (2015): A Process Mining Project Methodology. In *International Conference on Advanced Information Systems Engineering* (pp. 297-313). Springer.

EQUIPO DE INVESTIGADORES / RESEARCH TEAM



Juan
Salas-
Morales

Ricardo
Lira

Jorge
Muñoz-
Gama,
PhD

René
de la
Fuente,
MD

Ricardo
Fuentes,
MD

Marcos
Sepúlveda,
PhD