

## Modelado de un Servicio de Emergencia resiliente

Mariela Rodriguez<sup>1</sup>, Francesc Boixader<sup>2</sup>, Francisco Epelde<sup>3</sup>, Eva Bruballa<sup>4</sup>, Armando De Giusti<sup>5</sup>, Alvaro Wong<sup>6</sup>, Dolores Rexachs<sup>7</sup> y Emilio Luque<sup>8</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Nacional Universidad de Jujuy, Argentina

<sup>2,4</sup> Escuelas Universitarias Gimbernat, Escuela de ciencias de computación, Universidad Autónoma de Barcelona, Sant Cugat del Vallès, Barcelona, España

<sup>3</sup> Consultor de Medicina Interna, Universidad de Hospital Parc Tauli, Universidad Autónoma de Barcelona, Sadabell, Barcelona, España

<sup>5</sup> Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Buenos Aires, Argentina

<sup>6,7,8</sup> Departamento de Arquitectura de Computadoras y Sistemas Operativos, Universidad Autónoma de Barcelona Campus UAB, Edificio, Bellaterra, Barcelona, España

`mariela.rodriguez@fi.unju.edu.ar`

`2francesc.boixader@eug.es`

`3fepelde@gmail.com`

`4eva.bruballa@eug.es`

`4degiusti@lidi.info.unlp.edu.ar`

`6alvaro.wong@uab.es`

`7dolores.rexachs@uab.es`

`8emilio.luque@uab.es`

### RESUMEN

En el mundo ocurren situaciones críticas que requieren que los Sistemas de Urgencias Hospitalarios (SUH) estén activos. Emergencias como accidentes de gran envergadura, desastres naturales, epidemias colocan al sistema en una situación fuera de lo cotidiano requiriendo mayor ocupación de camas, laboratorios y personal para atención de pacientes. Las situaciones críticas son difíciles de reproducir en la vida real, es así que con la ayuda de la tecnología podemos simular eventos críticos que puedan ocurrir en un SUH para análisis y modelar una óptima planificación del servicio ante estas situaciones. El proyecto se basa en modelar un SUH de infraestructura y gestión de recursos resiliente que será expuesto a situaciones críticas de distintos grados de complejidad, y debe garantizar su operatividad. Para el desarrollo del modelo de simulación se utilizará Sistemas Basados en Agentes.

### CONTEXTO

El presente proyecto de investigación se desarrolla dentro del grupo de Investigación en Computación de Alto Rendimiento para Aplicaciones Eficientes y Simulación

(HPC4EAS) del Departamento de Arquitectura de Computadores y Sistemas Operativos de la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) en convenio de cooperación con la Facultad de Informática de la Universidad Nacional de La Plata. La investigación cuenta con el apoyo de la Agencia Estatal de Investigación (AEI), España y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) UE, bajo los contratos PID2020-112496GB-I00 y parcialmente financiada por la Fundación Escuelas Universitarias Gimbernat (EUG).

### 1. INTRODUCCION

Un SUH tiene por objetivo brindar un servicio a las personas que requieran de atención primaria de salud, es por ello que son bases fundamentales para el desarrollo del proyecto dos acuerdos internacionales vigentes. El primer acuerdo son las medidas adoptadas por Naciones Unidas para fortalecer los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) [1], que pretende trabajar con el ODS 3: Salud y Bienestar y el ODS 5: Igualdad de género. El segundo acuerdo es el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres [2] que brinda directrices para la prevención y mitigación de desastres. La investigación hace

hincapié en la prioridad 3 "invertir en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia" proporcionando un modelo que ayude a la toma de decisiones en la gestión de un SUH y prioridad 4: "Aumentar la preparación ante desastres para una respuesta eficaz y reconstruir mejor" para cumplir con esta prioridad es esencial empoderar a las mujeres y las personas con discapacidad para promover la equidad de género. Estos dos acuerdos están alineados con los objetivos del proyecto.

Se denomina desastre en una comunidad cuando se excede la capacidad de abordar la situación con sus recursos, como ocurre cuando hay inundaciones, terremotos o tsunamis, que se producen perturbaciones en los sistemas de salud. Estas perturbaciones miden la capacidad del sistema para hacer frente a los impactos de eventos disruptivos y así medir la resiliencia del sistema. El estudio de la resiliencia en un sistema de salud permite fortalecer sus capacidades para enfrentar mejores desastres imprevistos en el tiempo y la cantidad de pacientes que puedan llegar. Entonces, la resiliencia genera un conjunto de habilidades y estrategias que se activan ante un desastre. [3]

Para la realización del proyecto se cumple con los preceptos de los ODS 3, ODS 5 y ODS 9, las prioridades del Marco de Sendai y que sea una administración resiliente. El modelo de simulación en desarrollo consta de tres etapas. El ingreso de datos como agentes activos (pacientes, personal) y agentes pasivos (caja de atención, sillas, laboratorio, etc.); el proceso: en el que los agentes interactúan en el sistema y se evalúan los indicadores claves de rendimiento (KPIs) para medir la resiliencia del sistema; y por último, el resultado: un modelo de SUH resiliente ante situaciones críticas, permitiendo una retroalimentación constante para la mejora de procesos. Figura 1.

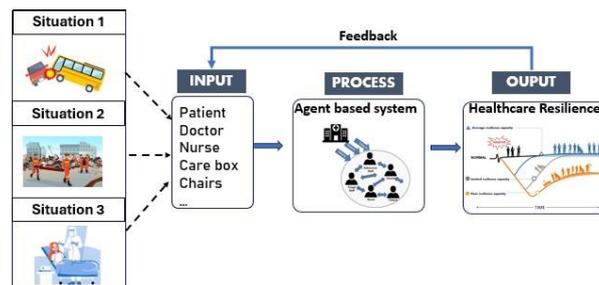


Figura 1: Proceso de desarrollo del proyecto

La metodología de desarrollo del proyecto de investigación es en espiral, dividida en fases incrementales. En las siguientes secciones se detallan las fases desarrolladas y resultados que se obtuvieron.

### 1.1 Evaluación del Servicio de Urgencias Hospitalarias, en situaciones críticas, mediante la inclusión de la Resiliencia y los Objetivos de Desarrollo Sostenible

En la primera fase de desarrollo se definió los fundamentos para el desarrollo del trabajo, objetivos y la metodología de desarrollo. [4]

El Objetivo de proyecto es: La recuperación de un servicio de primera necesidad es fundamental y prioritaria. Se propone diseñar un modelo de infraestructura y gestión de recursos resiliente, del Servicio de Urgencias Hospitalarias (SUH) que garantice su operatividad y recuperación ante situaciones críticas.

Metodología: Consta de los siguientes pasos:

Investigación y análisis de situaciones disruptivas en un sistema de emergencias hospitalarias.

Diseñar un modelo de simulación en el que se generen situaciones de peligro a fin de obtener una respuesta adecuada para cada una de ellas. El modelo debe permitir generar datos simulados para una posterior evaluación con datos reales, formando así los datos extendidos como se muestra en figura 2.

Medir la recuperación y obtener índices de resiliencia: Los datos completos con

escenarios adversos se utilizan para la identificación de la resiliencia y predicción del comportamiento del sistema ante escenarios futuros, incorporando los objetivos ODS especificados en el objetivo del proyecto. Los índices obtenidos retroalimentan la predicción de sucesos y serán alimentados por las situaciones preventivas y reactivas a fin de mejorar su medición.

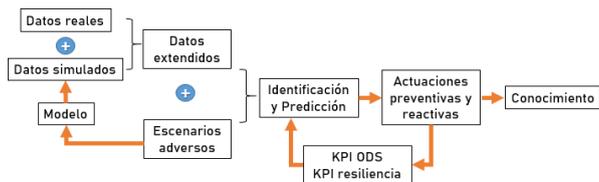


Figura 2. Proceso de simulación de Sistema de Emergencia Hospitalaria en escenarios adversos

## 1.2 Análisis de resiliencia de un Sistema de Urgencias Hospitalarias: El caso de accidentes con múltiples víctimas

En la segunda fase de la investigación se analizaron los ingresos de los pacientes considerando una clasificación según la gravedad. Situación 1 menos grave a Situación 3 la más grave. Por ejemplo, situación 1: accidente de tráfico importante, situación 2: terremoto, situación 3: epidemia. El análisis permitió adaptar la situación 2: pacientes atendidos después de un terremoto, como ejemplo se simuló el terremoto ocurrido en Chile el 27 de febrero del 2010 y el consecuente ingreso de pacientes al hospital de Cauquenes.[5]

Cuando ocurre un terremoto las instituciones públicas y organismos privados desarrollan tareas para mitigar los riesgos provenientes del desastre, estas actividades conforman una cadena de socorro. La cadena de socorro tiene tres eslabones, el primero es la zona de impacto, en el segundo se encuentra la zona de atención y coordinación, aquí se clasifican a los lesionados mediante un triaje SHORT y envían al hospital a lesionados que necesitan atención inmediata, urgente y aquellos que puedan esperar. El eslabón 3 es la atención en

un SUH. En el SUH se utiliza triaje de Manchester. Figura 3.

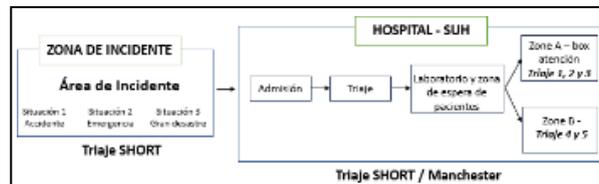


Figura 3: Cadena de socorro ante desastres.

Al SUH ingresan una gran cantidad de pacientes las primeras horas de ocurrido el terremoto y con el correr del tiempo va disminuyendo dado que la probabilidad de encontrar personas con vida disminuye. El SUH debe gestionar los recursos para atender la demanda presentada. El desafío que presento esta fase de investigación fue adaptar el simulador de una atención normal a llevarlo a una atención de situación de desastre. Para esta tarea se deshabilitó el servicio de atención de pacientes de lesiones leves y se utilizó esos recursos para atender a pacientes con lesiones graves, los resultados se detallan a continuación.

Se analizaron dos escenarios: Atención de todos los pacientes que ingresan al SUH, esto es, sin respetar el protocolo de desastres y la priorización de atención con lesiones graves con protocolo de priorización de pacientes. Para medir los resultados se midieron los KPIs: Longitud de cola de espera de cama y Tiempo de Estancia en hospital (LOS). El LOS es el tiempo que un paciente está en el SUH desde que ingresa hasta que sale del mismo, los tiempos son diferentes y están dados de acuerdo a la clasificación de pacientes mediante triaje de Manchester: triaje 1 (riesgo de vida), triaje 2 (muy urgente) y triaje 3 (urgente).

Luego de ocurrido el terremoto, si se atiende a todos los pacientes sin protocolo de priorización la longitud promedio de espera de camas sería de aproximadamente 50 pacientes por día. Por otro lado, si se atiende priorizando a los pacientes mediante el protocolo de cadena

de socorro solo el segundo día después del terremoto se tendría que 4 pacientes esperan cama. Figura 4.

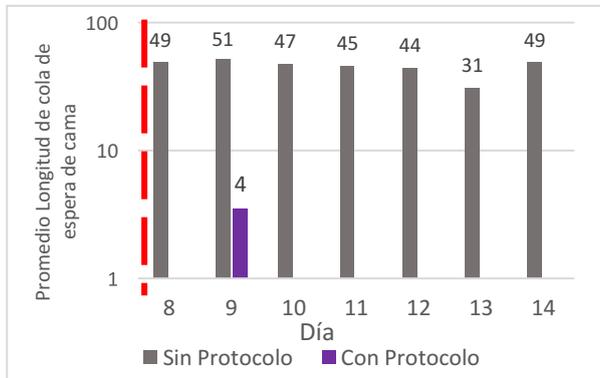


Figura 4: Longitud de cola de espera de cama con protocolo y sin protocolo.

Las horas que debe pasar un paciente con triaje 3 en el SUH aumentan considerablemente si la atención es sin protocolo. Figura 5. En cambio, si se prioriza los pacientes el LOS solo aumenta un par de horas.

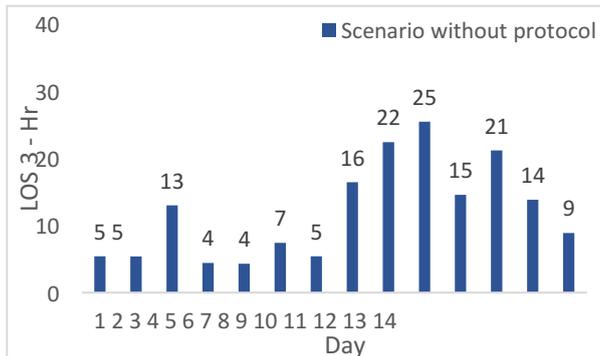


Figura 5: LOS de pacientes con Triaje 3, atención sin protocolo.

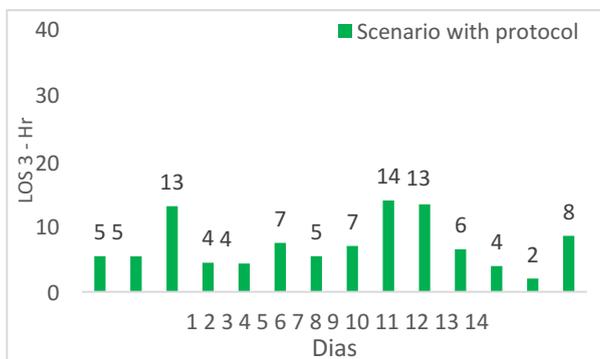


Figura 6: LOS de pacientes con triaje 3, atención con protocolo.

Se puede observar que es importante contar con un protocolo de atención ante situaciones de desastres y administrar los recursos

dinámicamente hasta que el sistema pueda volver a estar en un estado estable.

### 1.3 Análisis de resiliencia de un SUH en situaciones de estrés

La tercera fase se requirió evaluar el rendimiento de un SUH, para esto se incrementó de forma creciente los pacientes evaluando el rendimiento de los KPIs: tiempo de estancia, longitud de la cola de espera y tasa de servicio. [6]

El incremento se realizó de forma porcentual, donde inicialmente se contaba con un promedio de 261 pacientes por día, en cada iteración de simulación se incrementó un 10% más, llegando a incrementar un 150 % es decir, 659 pacientes promedio por día.

Tabla 1: Incremento de pacientes

% Incremento	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Promedio pacientes	261	288	315	341	365	398	417	446	468	499	522	549	576	602	626	659

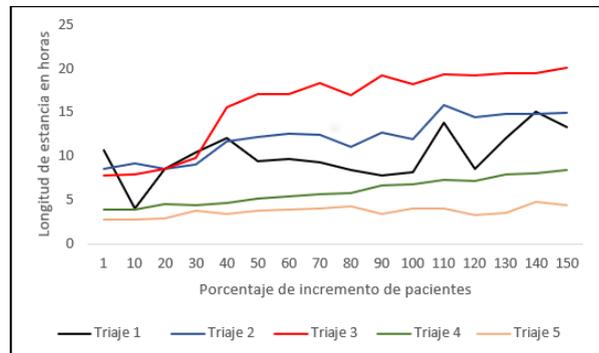


Figura 7: Porcentaje de incremento de pacientes según triaje

Los resultados obtenidos permiten visualizar que la duración de estancia de los pacientes clasificados según triaje aumenta lentamente de acuerdo al aumento del número de pacientes. Se destaca que los pacientes más críticos (triaje 1) presentan oscilaciones en las iteraciones de simulación analizadas y los pacientes del triaje 3, tras aumentar un 40% más de pacientes, crece considerablemente el tiempo de estancia media que es 15 y 20 horas.

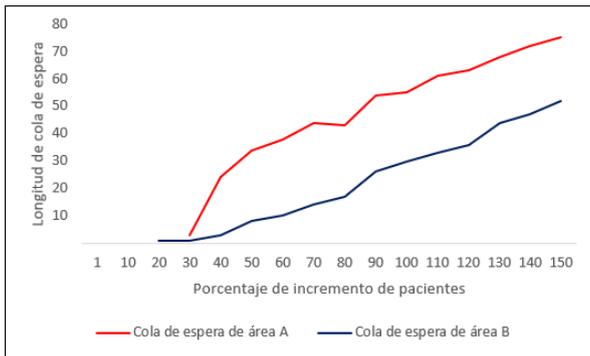


Figura 8: Longitud de cola de espera en área A y área B.

La figura 8 muestra el aumento de la cola de espera de pacientes en la zona A y en la zona B. En un día normal, no hay cola de espera en el box de atención tampoco para ser atendido en la zona B. Sin embargo, tras un aumento del 40% (365 pacientes), la cola de espera en el box de atención es de 24 pacientes de media; a partir de entonces, el aumento es constante. En cuanto a los pacientes que esperan ser atendidos en la zona B, cuando el número de pacientes aumenta un 50% (398 pacientes) la cola es de 8 personas esperando ser atendidas, a partir de este porcentaje el incremento de la cola es constante.

El estudio permitió concluir que son varios los factores que influyen en la atención a los pacientes y es posible aumentar el número de pacientes hasta en un 40% sin modificar otras áreas de atención. A partir de ahí, es necesario reasignar recursos, disminuir el tiempo de atención en determinadas áreas, procedimientos basados en situaciones de catástrofe, que fueron analizados por organizaciones dedicadas a la atención sanitaria.

#### 1.4 Predicción de atención Análisis de resiliencia de un SUH en situaciones

En esta fase de investigación, se analiza la distribución de llegada de pacientes, los tiempos de atención de médicos, enfermeros, así como la disponibilidad de camas en cada área de atención. La llegada de pacientes aumentará en frecuencia y se prolongará en el tiempo según la situación externa acaecida.

Cuanto más crítica sea la situación, más camas tendrá el servicio de urgencias y más médicos y enfermeras disponibles para poder atender a todos los pacientes. Esta fase se encuentra en etapa de investigación bibliográfica y de simulación de las situaciones planteadas.

## 2. LINEAS DE INVESTIGACION Y DESARROLLO

Las líneas de investigación que aborda el grupo HPC4ERS son:

- a) Tecnologías HPC
- b) Aplicaciones con impacto social.

Este proyecto se enmarca sobre la línea de investigación de Aplicaciones con impacto social, donde las sub líneas son:

- Simulación y optimización de Servicios de Emergencias en Hospitales (Smarter health Services)
- Simulación de individuos orientado a modelos.
- Simulación y optimización de movimientos de personas en entornos restringidos.

## 3. RESULTADOS OBTENIDOS / ESPERADOS

El objetivo que lleva la investigación consta de cuatro ejes estratégicos que se corresponden con las cuatro capas arquitectónicas de HPC para aplicaciones eficientes y simulación (hpc4eas):

- Rendimiento y Eficiencia en el uso de los recursos HPC,
- Disponibilidad de los Recursos HPC para el Usuario,
- Diseño y Optimización de Sistemas HPC para "Cargas de Trabajo" Específicas (dominios específicos de aplicación) y
- Aplicaciones de Proyección Social.

Los resultados de estas líneas de investigación ofrecerán una mejora considerable en la utilización de los recursos, la eficiencia energética y el coste de las actuales infraestructuras científicas y empresariales [7].

#### **4. FORMACION DE RECURSOS HUMANOS**

La investigación se realiza en el marco de la tesis de doctorado de Ciencias Informática, de la Universidad Nacional de La Plata.

Tesista: Mariela Rodriguez

Título: Evaluación del Servicio de Urgencia de un Hospital, en situaciones críticas con la inclusión de los índices de Resiliencia y Objetivos de Desarrollo Sostenible

Resolución: 3300-001173/23-000

Directores: Francesc Boixader, Armando De Giusti y Emilio Luque.

#### **5. BIBLIOGRAFIA**

[1] Cuarto Simposio Mundial de Investigación sobre Sistemas de Salud, realizado en Vancouver, Canadá. Noviembre de 2016, <https://healthsystemsresearch.org/hsr2016/sistemas-de-salud-resilientes-en-la-region-de-las-americas/>. Último acceso 12-03-2022

[2] Naciones Unidas: Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres, 2015

[3] Anholt, R., and F.K. Boersma. 2018. "From security to resilience: New vistas for international responses to protracted crises." B. D. Trump, M.-V. Florin, & I. Linkov (Eds.), IRGC Resource Guide on Resilience (Volume 2) EPFL International Risk.

[4] Mariela Rodriguez, Francesc Boixader, Alvaro Wong, Dolores Rexachs and Emilio Luque. Evaluación del Servicio de Urgencias Hospitalarias, en situaciones críticas, mediante la inclusión de la Resiliencia y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Jornadas de Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics, 2022.

[5] Mariela Rodriguez, Francesc Boixader, Francisco Epelde, Eva Bruballa, Armando De Giusti, Alvaro Wong, Dolores Rexachs and Emilio Luque. Analysis of the Resilience of an Emergency Department: The case of accident with multiple victims. Winter Simulation Conference. 2023.

[6] Mariela Rodriguez, Francesc Boixader, Francisco Epelde, Eva Bruballa, Armando De Giusti, Alvaro Wong, Dolores Rexachs and Emilio Luque. Resilience

analysis of an Emergency Department in stressful situations. Conference on Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics. 2023.

[7] High Performance Computing for efficient applications and simulation research group. <https://webs.uab.cat/hpc4eas/>. Último acceso: 1-03-2024