

## Un Enfoque Multidisciplinario para la investigación en gestión de desastres naturales

Juan Francisco Venegas Gutiérrez, Universidad Santiago de Chile, j.venegasgutierrez@gmail.com

Luis Felipe Robledo Aldana, Universidad Andrés Bello, luis.robledo@unab.cl

Gustavo Esteban Gatica, Universidad Andrés Bello, ggatica@unab.cl

### RESUMEN

La Universidad Andrés Bello, como entidad educacional altamente comprometida con la sociedad chilena y estrechamente vinculada con el medio mediante, contribuye en la continua generación de producción científica y formación de capital humano avanzado, situándola como la universidad privada con mayor número de publicaciones WoS, siendo una de las mejores universidades emergentes, que cumple con los valores institucionales de excelencia, responsabilidad, pluralismo, respeto e integridad. En este contexto, la Facultad de Ingeniería, con tres sedes a nivel nacional y con más de 10000 estudiantes en programas de pre y postgrado, ha desarrollado a través de diversos proyectos una relación directa con instituciones tanto estatales como privadas tales como; CIGIDEN, ONEMI, SHOA, Pontificia Universidad Católica, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Universidad Nacional de Colombia entre otras. Gracias a proyectos y continua colaboración la Facultad ha fomentado el desarrollo de una de sus líneas de investigación, la gestión de desastres naturales, donde se formula y desarrollan proyectos que buscan analizar y comprender los factores que intervienen en eventos y escenarios de desastres naturales, con el objetivo de generar políticas públicas que busquen mitigar el riesgo y la mortalidad en situaciones de desastre.

Se presentan un conjunto de casos de éxito correspondientes a centros, laboratorios y proyectos en los que participa activamente la Universidad y desde los cuales surgen tesis con alto potencial para la generación de investigación aplicada y que así contribuyen a las áreas "Interdisciplina en la formación del ingeniero", "Rol del ingeniero en el contexto de una sociedad global" y la "Vinculación universidad-empresa", donde la Facultad de Ingeniería de la Universidad Andrés Bello, evidencia su rol como entidad generadora de valor en la sociedad.

**PALABRAS CLAVES: Formación Capital Humano, Gestión Desastres Naturales, Transporte de víctimas, Homeostasis, Simulación.**

## **INTRODUCCIÓN**

La Universidad Andrés Bello, institución privada fundada en 1988, desde el 2012 pertenece al sistema único de admisión del CRUCH y acreditada por la CNA hasta diciembre de 2017. Desde sus inicios la Universidad ha buscado posicionar y potenciar sus líneas de investigación, mediante una estrecha vinculación con el medio a través de la adjudicación de diversos proyectos ya sea Fondecyt, Fondef, o Corfo, entre otros, en conjunto con instituciones tanto estatales como privadas. Lo anterior se consolida por el desarrollo y la actualización continua de sus diversos programas de educación superior, correspondientes a 71 programas de pregrado, 45 programas de magíster y 7 programas de doctorado, muchos de los cuales son impartidos en distintas sedes del país y de manera online.

Respecto a la política de investigación de la Universidad, ésta se encuentra respaldada por una estructura administrativa que busca impulsar, potenciar y desarrollar la investigación básica y aplicada de manera local como interdisciplinaria, pero centrando sus esfuerzos en el desarrollo de artículos científicos y/o de bienes públicos, además de la impartición de programas de postgrado junto a los de doctorado, los cuales buscan alinearse y contribuir al fortalecimiento de la cultura científica. La estructura funcional se encuentra conformada por la Vicerrectoría de Investigación (VRDI), la Dirección General de Investigación (DGI) y la Dirección General de Innovación y Transferencia Tecnológica (DITT), la Dirección Académica de Doctorados (DAD) y el Centro para la comunicación de la Ciencia (CCC).

La institución y particularmente la Facultad de Ingeniería (F.I) buscan potenciar la transferencia efectiva de conocimiento tanto a través de sus programas de pregrado y postgrado, como en sus redes nacionales e internacionales. Dentro de las unidades de investigación asociadas a la F.I, participan académicos, investigadores y alumnos de pre y postgrado de las diversas facultades como se presentan en la Figura 1.

<b>Centros de Investigación</b>	<b>Fondo de Financiamiento de Centros de Excelencia en Investigación (FONDAP)</b>
<b>Centro de Transporte y Logística (CTL)</b>	<b>Centro Nacional de Investigación para la Gestión de Desastres Naturales(CIGIDEN)</b>
<b>Centro de Investigación Marina Quintay (CIMARQ)</b>	<b>Centro de Regulación del Genoma(CRG)</b>
<b>Centro de Investigaciones Territoriales y Urbanas(CITU)</b>	<b>Centro Interdisciplinario de investigación en Acuicultura Sustentable (INCAR)</b>

**Figura 1:** Centros de investigación, pertenecientes a la Universidad Andrés Bello

Como Institución, se puede visualizar la tendencia en el aumento de la producción científica al ver que en el periodo 2010-2013 la Universidad ha incrementado desde 159 a 385 artículos indexados y en el periodo 2013-2016 ha pasado de las 385 a las 495 publicaciones científicas indexadas en Web of Science (WOS), en donde además ocupa el primer lugar en producción científica WOS. Destaca el área de Ciencias Naturales con un 60.17%, y la 3er área mejor posicionada dentro de la Universidad corresponde a Ingeniería y Tecnologías. Además se verifica el crecimiento en publicaciones indexadas en Scopus que ha crecido con una tendencia similar en el periodo 2013-2016, pasando de 392 a 548 publicaciones, en donde además se evidencia la consistencia en la colaboración con instituciones internacionales, dado que en este periodo la colaboración internacional en Indexaciones Scopus ha crecido en un 5.9%.

Respecto a los indicadores globales acerca de la distribución de publicaciones científicas UNAB-Chile en el periodo 2013-2016, podemos verificar el crecimiento en 19 de las 27 áreas donde la Universidad tiene participación, en donde a pesar de existir tasas de crecimientos inferiores al 50% aun así siguen siendo positivas. Esto no ocurre en alguna de las áreas a nivel país en donde incluso existen tasas negativas como en las áreas de Bioquímica, Genética y Biología Molecular con un -5.5% (UNAB, 62.6%), Física y Astronomía con un -8.3%(UNAB, 139.2%) y Ciencia de Materiales con un -0.8%, mientras que la UNAB, en esta área, muestra un crecimiento del 11.6%. Nuestro análisis busca exponer y mostrar las tendencias para el futuro de la producción científica realizada por la F.I. junto a los programas de pregrado y postgrado que esta imparte y los proyectos realizados en conjunto con otras unidades investigativas e incluso instituciones estatales y privadas a nivel nacional.

Dado el contexto investigativo a nivel general de la Universidad y de las significativas variables y cifras que presenta la universidad en cuanto a producción científica, a continuación proponemos un artículo que tiene por finalidad presentar mediante un enfoque multidisciplinario, una muestra de las actividades de investigación que realiza la F.I en el área de Gestión de Riesgo y Toma de Decisiones en Eventos de Desastres Naturales, por medio del desarrollo de los siguientes puntos:

- El contexto de los Desastres Naturales
- Proyectos de Investigación en desarrollo
- Conclusiones generales

En el primer punto se desarrolla una breve introducción para contextualizar el quehacer investigativo de la F.I. dentro del área de la Gestión y toma de decisiones en eventos de desastres naturales donde se presentan algunas conceptos desarrollados en la literatura que permiten abordar los datos históricos respecto a estos desastres naturales ocurridos en Chile en el periodo 1900-2010. Luego, en el segundo punto se muestran algunos proyectos asociados en desarrollo por la F.I. junto a al Centro Nacional de Investigación para la Gestión Integrada de Desastres Naturales(CIGIDEN), Disaster Management Simulation Laboratory (DSMLab) y trabajos de tesis. En el tercer punto se exponen las conclusiones generales respecto a las áreas planteadas, hitos más relevantes de los trabajos analizados, perspectivas futuras de estos trabajos junto a los lineamientos del plan estratégico del área de investigación de la Universidad. Finalmente, se presenta a Bibliografía utilizada tanto en los proyectos de tesis finalizados, como la utilizada para el análisis y desarrollo del artículo en su forma general.

### **CONTEXTO DE LOS DESASTRES NATURALES EN CHILE: Estado actual de la Investigación en Desastres Naturales en la F.I. de la UNAB**

Dentro de la labor investigativa que realiza la F.I. se han definido algunas áreas de investigación en desastres naturales, no excluyentes, que consideran: Percepción del riesgo, Gestión y toma de decisiones y Logística de emergencias en desastres naturales; Sustentabilidad en cadenas de abastecimiento y Eficiencia energética; transporte sustentable. Nuestro artículo considera el quehacer, producción y colaboración científica desarrollada en la segunda línea investigativa, la Gestión y toma de decisiones en eventos de desastres naturales. Para contextualizar, debemos definir las emergencias como *“Eventos menores que causan algunas bajas y una cantidad limitada de daños a la propiedad afectando a otras personas”* (Quarantelli, 1986), por otra parte, Lindell et al (Lindell, M. K., Prater, C. & Perry, 2006) define el término desastre como *“eventos que producen más pérdidas de lo que una comunidad puede encargarse, haciendo frente sólo con la ayuda de otras comunidades. Estos causan bajas considerable y daños fuerte a la propiedad u medio ambiente”*.

De manera histórica, en Chile han tenido lugar numerosos eventos de desastres naturales de distinta naturaleza que generan perjuicios estructurales, económicos e incluso sociales. Destacan los Terremotos, como es el caso del Terremoto (8.8 en escala de Richter) con posterior Tsunami del 27 de Febrero de 2010 el cual dejó 562 víctimas fatales y 2.671.556 afectados, también el evento sísmico de mayor liberación de energía del 22 de mayo de 1960 dejando 2.003.000<sup>1</sup> afectados y un daño económico de \$550.000<sup>2</sup> dólares. Existen otros desastres que si bien no han cobrado un alto número de víctimas, si han impactado el medioambiente la economía o incluso daño estructural como lo es el caso de la Erupción del Volcán Chaitén en 2008, la sequía del periodo 1967-1969 e incluso, los grandes incendios que afectaron a la zona centro-sur del país desde el 18 de enero hasta el 5 de febrero de 2017 en las regiones de O'Higgins, el Maule y el Biobío. Dentro de los factores asociados o generadores de daño se encuentran la amplia variedad de actores existentes, problemas de coordinación y colaboración entre ellos, alta incertidumbre y escasez de recursos (Çelik et al., 2014).



Figura 2: Fuente EM-DAT

Sin embargo uno de los aspectos más relevantes para una eficiente mitigación, preparación, respuesta y recuperación de daños y perjuicios sociales, económicos y medioambientales, es una eficiente y eficaz implementación de algoritmos, metodologías y herramientas y/o plataformas para el control de la gestión, desde las áreas de Disaster Management Operation (DOM) de las diferentes entidades estatales y/o privadas involucradas en un evento de desastre natural, así como lo destacan (Altay & Green, 2006) y (Galindo & Batta, 2013).

A continuación, se presenta 3 áreas de proyectos desarrollados por la Facultad de Ingeniería en colaboración con otras instituciones asociadas a la Gestión y Toma de decisiones en eventos de desastres naturales.

### **PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN DESARROLLO**

La F.I. genera investigación de manera intensiva para proponer y desarrollar proyectos en colaboración con otras instituciones, además se adjudica fondos para el fomento de éstos, los

<sup>1,2</sup> Fuente: EM-DAT, 2010

cuales evidentemente requieren de una continua evaluación y mejora de los procesos con actividades internas que contribuyan a la iniciación y continuidad de proyectos.

De esta forma, centramos nuestro análisis en el Centro Nacional de Investigación para la Gestión Integrada de desastres Naturales (CIGIDEN), el Disaster Management Simulation Laboratory (DSMLab) como caso específico de CIGIDEN, y los proyectos de titulación desarrollados tanto por alumnos de pregrado, postgrado que han sido presentados en conferencias, congresos, que son candidatos a publicaciones y que se enmarcan dentro de los proyectos de los centros mencionados. Estos representan los proyectos más destacados tanto por la calidad de los resultados que se han obtenido directamente desde ellos, como por la duración que llevan actualmente tanto en lo que representó la etapa de formulación y desarrollo, y la etapa de implementación y operación.

### **CIGIDEN**

El Centro Nacional de Investigación para la Gestión Integrada de Desastres Naturales (CIGIDEN), está conformada por cuatro instituciones de educación superior correspondientes a: Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad Católica del Norte, Universidad Técnica Federico Santa María y la Universidad Andrés Bello. Dadas las condiciones geográficas de Chile y junto a la información existente respecto a los eventos de desastres tanto de tierra sólida, como de aguas superficiales ocurridos en Chile, es que este se sitúa como uno de los laboratorios naturales más propicios para el estudio y generación de modelos y políticas. Bajo esta perspectiva CIGIDEN ha establecido 6 líneas de investigación correspondientes:

- L1: Procesos de Tierra Sólida y Amenazas Naturales Asociadas
- L2: Procesos de Aguas Superficiales y Amenazas Naturales Asociadas
- L3: Evaluación de Vulnerabilidad y Riesgo de Sistemas Físicos y Sociales
- L4: Gestión de Desastres y respuesta a la Emergencia
- L5: Mitigación Sustentable del Riesgo
- L6: Información, Comunicación y Tecnologías para la gestión de desastres.

Si bien existe una mayor producción científica referente a la L1, lo que se puede evidenciar en los trabajos de (Maldonado, Kronmuller, & Gutiérrez, 2016), (de la Llera et al., 2017) y (Shrivastava et al., 2016), lo cual es evidente dados que los eventos de desastre sísmológicos son los eventos con mayor frecuencia histórica, también se encuentran trabajos enfocados a otras áreas como lo es el trabajo referente a los aportes para generar un índice riesgo climático de (Henríquez, Aspee, & Quense, 2016) y la "Propuesta para abordar los problemas de salud mental detectados en el proceso diagnóstico de la Delegación Presidencial para la reconstrucción tras el terremoto del 27 de febrero de 2010" (Figueroa & Cortés, 2016). Destacamos la actividad del centro, debido a que realiza investigación teórica y aplicada mediante una perspectiva interdisciplinaria, lo que permite la integración de enfoques científicos de diversas áreas, tales como de Ingeniería, Psicología, Sociología, Economía u otros, lo que sin duda representa una ventaja competitiva, ya que las soluciones a problemas de desastres naturales deben responder en todas sus aristas a las distintas áreas involucradas y a los stakeholders correspondientes.

### ***Disaster Management Simulation Laboratory (DSMLab)***

El DSMLab (Vásquez & Robledo, 2016) fue desarrollado como un laboratorio de prueba dentro del entorno de transferencia científica de CIGIDEN. Este laboratorio se sitúa dentro de los

simuladores y entrenadores cognitivos para *managers* de alto de nivel así como los propuestos en (Becerra-fernandez & Ph, 2007) y (Bacon & MacKinnon, 2012), este provee de soporte a 4 de las 6 líneas de investigación de CIGIDEN. De esta forma el DSMLab es una plataforma multidisciplinaria basada en simulación y modelamiento de proceso para la toma de decisiones, así se prepara, entrena y adapta a los stakeholders involucrados en la toma de decisiones ante un evento de desastre natural. Dentro de la ingeniería de software del proyecto, destaca el *framework* utilizado, para generar escenarios de emergencia, simulación de comunicaciones con autoridades, redes sociales, colapso de redes telefónicas y la implementación de algoritmos de inteligencia artificial para las herramientas de pre y post análisis, permitiendo incluso la integración con software de terceros como en el caso de HAZUS.

Dentro de los resultados exitosos, dada la colaboración Universidad – DSMLab – CIGIDEN destaca:

- Desarrollo de una aplicación de entrenamiento en toma de decisiones de emergencia, a nivel Centro de Alerta Temprana, proyecto que tomó 18 meses de desarrollo.
- Fortalecimiento de las relaciones entre CIGIDEN y ONEMI.
- Obtención del conocimiento, respecto a la forma en que ONEMI coordina con los diferentes servicios de emergencia y organismos orientados al sistema de protección civil.
- Comprensión de la eficiencia, calidad e índices de mejora para los diferentes stakeholders del CAT (Centro Alerta Temprana; unidad perteneciente a ONEMI)
- Identificación de los procesos internos de la Unidad de Abastecimiento y Logística de ONEMI

Cabe destacar que el desarrollo de la aplicación del DSMLab para el CAT se encuentra en trámite de registro de propiedad intelectual, y que su resultado propone la incorporación de una fase avanzada de desarrollo la que incorporará eventualmente al cuerpo de bomberos de Santiago, en apoyo a la toma de decisiones y coordinación inter-agencias. Además (Vásquez & Robledo, 2016) proponen un Virtual Test Bed (VTS), el cual permite trabajar con una plataforma de simulación y entrenamiento multidisciplinario para preparar a los stakeholders ante posibles eventos de desastre natural, basándose entre áreas fundamentales: Emergencias basadas en toma de decisiones, emergencias basadas en Optimización y Simulación y Respuesta humanitaria.

### ***Proyectos y trabajos de Tesis***

Dentro de los trabajos de tesis que son desarrollados por alumnos de pregrado y postgrado de la Facultad de Ingeniería, destaca en un primer análisis que las *keywords* más utilizadas corresponden a “Desastres, Transporte de víctimas, *Homeostasis* y Simulación”, por esto el análisis de los proyectos destacados y/o que muestran un alto potencial, tanto por el sub-área en la que se desarrollan como por futuras líneas investigativas y sus consecuentes aplicaciones prácticas, que evidentemente se alinean con el quehacer investigativo de la Facultad y de la Universidad, es que encontramos en el periodo Junio de 2016 hasta Julio de 2017, que se presentan 15 tesis que se ajustan al primer aspecto de las cuales sólo 2 de estas se encuentran como tesis ya finalizadas, la primera corresponde a “*Problema de transporte de víctimas frente a desastres naturales*” (S.Reid, 2016) y la segunda correspondiente a “*Dynamic Behaviour Modeling for Tsunami-Based Evacuation*”(Wachetendorff, F., 2017). Cabe recalcar que una de estas tesis correspondiente a “*Location, allocation, and pre-positioning of multi-product stock in preparation and response to natural disasters*” y que se encuentra en proceso de finalización se

enmarca dentro las tesis desarrolladas en el Centro Nacional de Investigación para la Gestión Integrada de Desastres Naturales (CIGIDEN).

*Problema de transporte de víctimas frente a desastres naturales*

En la tesis de (Reid,S.,2016) se desarrolla un modelo matemático que permite minimizar los tiempos de traslado de las víctimas, desde que se encuentran hasta que son llevadas al centro médico, el modelo además considera mediante una ponderación la gravedad de los pacientes. Este modelo fue implementado considerando un evento hipotético de terremoto y con posterior tsunami en la ciudad de Iquique. En cuanto a los recursos utilizados para el levantamiento de información como los recursos computacionales utilizados, destaca el tiempo computacional involucrado para la resolución del problema por pertenecer a la clase NP-Hard de problemas de decisión, luego el software utilizado para su implementación y resolución corresponden a CPLEX 12.6.3. En cuanto al levantamiento de información, fue obtenida directamente de la red vial del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones de Chile, donde se consideraron y modelaron 1623 manzanas censales con 6 hospitales, 1 base militar y 3 sitios factibles para atención temporal, se genera obteniendo una red compuesta por 1633 nodos y 4551 arcos (bi-direccionales). A continuación sólo se muestra y explica la función objetivo expuesta en (Reid,S.,2016) junto a los parámetros y variables de decisión involucradas en esta, dada la extensión del modelo debido a sus 32 restricciones.

- $\lambda_j$  : Ponderador de gravedad de la víctima  $j \in Ca$ .  
 $\varepsilon$  : Parámetro de penalización (número pequeño).  
 $\theta$  : Parámetro de penalización (número grande).

**Expresión 1:** Parámetros del modelo matemático. (Reid,S.,2016)

- $\beta_j$  : Tiempo en que la víctima  $j \in Ca$  llega al centro médico.  
 $L_h^g$  : Sobrecapacidad utilizada para un centro médico  $h \in \hat{H}$  de gravedad  $g \in G$ .  
 $C_j$  : Hora en que la víctima  $j \in Ca$  es atendida por un vehículo y estabilizada.  
 $F_h = \begin{cases} 1 & \text{Si se activa el centro de atención temporal } h \in Hf. \\ 0 & \text{En otro caso} \end{cases}$

**Expresión 2:** Variables de decisión del modelo matemático. (Reid,S.,2016)

$$\text{Min} \sum_{j \in Ca} \lambda_j \beta_j + \varepsilon \sum_{h \in \hat{H}} \sum_{g \in G} L_h^g + \varepsilon \sum_{j \in Ca} C_j + \theta \sum_{h \in Hf} F_h$$

**Expresión 3:** Función objetivo del modelo matemático. (Reid,S.,2016)

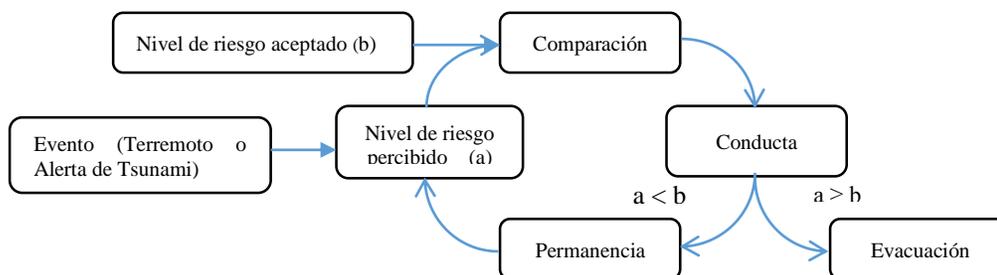
La función objetivo (1) minimiza el tiempo ponderado en que las víctimas llegan al hospital, penalizando las sobrecapacidades de los centros médicos utilizados, el tiempo en que la víctima es atendida y la activación de los centros de campaña. En función de los resultados y conclusiones expuestas en (Reid,S.,2016), se demuestra que el modelo logra minimizar los tiempos de traslado bajo distintos escenarios como lo son el número de víctimas, pocos recursos, centros médicos con distintas capacidades y distintas flotas para el traslado de pacientes, además de sobrecapacidades cuando algunos centros se vean saturados. En función de estos resultados

se demuestra y valida la metodología, ya que permite una aproximación bastante cercana a lo que es una situación de terremoto con posterior tsunami, permitiendo minimizar los tiempos de traslado pudiendo estudiar diversos escenarios.

*Modelación dinámica del comportamiento ante evacuación por tsunami:  
La toma de decisión vista como una homeostasis del riesgo*

En la tesis de (Wachtendorff, F., 2017) se presenta un modelo dinámico del comportamiento humano ante una evacuación por tsunami, específicamente se desarrolla una simulación mediante *System Dynamics*, la cual permite estudiar la homeostasis del riesgo de una población en concreto. Esta homeostasis del riesgo se puede definir como la diferencia entre el riesgo percibido y el riesgo aceptado, así se establece que si el riesgo percibido es mayor al riesgo aceptado el curso de acción de la población será evacuar, sin embargo, si el riesgo percibido es menor al aceptado la población o comunidad no evacuará, cabe mencionar que además dado los resultados homeostáticos de la simulación podemos también estudiar la resiliencia de la comunidad afectada.

Dentro del modelo desarrollado por (Wachtendorff, F., 2017), destacan tres fases fundamentales: Modelamiento del comportamiento humano (homeostasis del riesgo), construcción del modelo dinámico y definición de variables asociadas al comportamiento humano y a desastre natural. Dentro del campo de la teoría de decisiones, el modelo se basa en mayor parte por la teoría descriptiva que por la normativa. En este enfoque se basa en (Herbert A. Simon et al., 1987), la cual entrega un marco teórico y fundamentalmente mejores conceptos de cómo se toma una decisión, así Herbert et al. señala que un ser humano toma la decisión que lo logra satisfacer más rápidamente y no la que permite maximizar alguna función de utilidad *a priori* ya definida (Herbert A. Simon et al., 1987). Además, esta teoría permite una aproximación mucho más real tanto del evento de desastre como de la simulación propuesta, ya que este autor dice que los individuos al enfrentar ambientes complejos utilizan métodos heurísticos para tomar decisiones, así construyen un modelo simple (a nivel cognitivo de la realidad). Dentro del modelamiento humano se define la “Teoría de Homeostasis del Riesgo (THR)” desarrollada por Wilde, así de manera general se puede definir la toma de decisión como una homeostasis del riesgo como, “*las decisiones que toma un individuo y que influyen en su ambiente y sobre sí mismo, que le permiten perpetuar el estado actual*” (Wilde, 1982). En la figura 3, se observa el sistema modificado, para modelar la situación de evacuación de tsunami, aquí sólo se agregan dos variables al modelo propuesto por Simonet, las cuales corresponden “Evento (Terremoto o alerta de Tsunami)” y “Evacuación” (Simonet & Wilde, 1997).



**Figura 3:** Representación del proceso homeostático del riesgo, ante una evacuación de Tsunami. (Simonet & Wilde, 1997)

Finalmente, se muestra en la figura 4 el modelo dinámico realizado en el software Vensim, en donde dada la cantidad de relaciones establecidas y sub-sistemas modelados, estos últimos se muestran en Anexos 2.

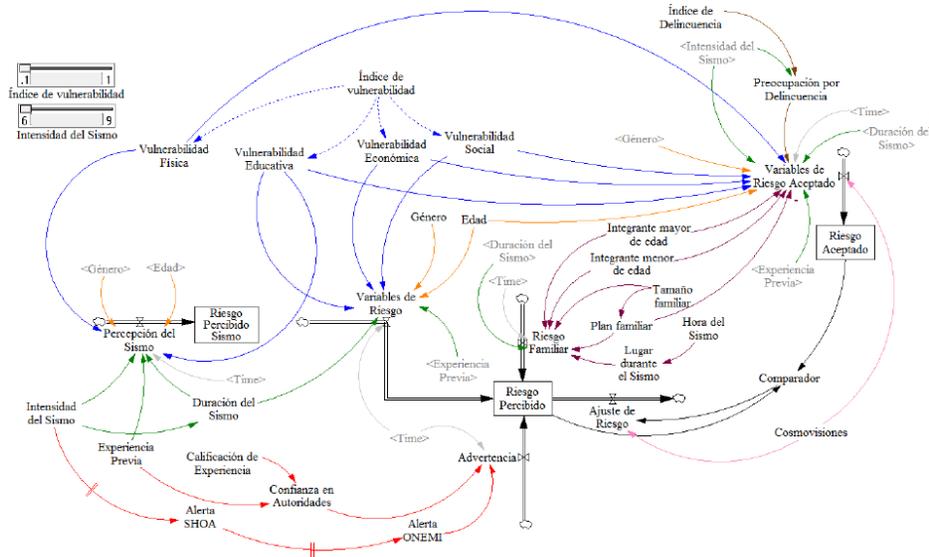


Figura 4: Modelo Dinámico propuesto por (Wachetendorff, F., 2017)

En el modelo, la dinámica inicial se modela como sigue: Se realiza una construcción inicial del riesgo, este modelamiento es función del tiempo asociado al evento. Luego el nivel de riesgo aceptado se modela mediante la alerta que llegará posterior al sismo, componentes familiares y datos de vulnerabilidad y la cosmovisión, finalmente el riesgo percibido se determina igual que el aceptado pero sin considerar la cosmovisión. Luego de iterar el modelo y esperar los lead-time de cada sub-sistema, se obtiene finalmente la diferencia entre el riesgo aceptado y el percibido, la cual permite determinar si las personas evacuarán o no, pudiendo así analizar en función de esta diferencia la homeostasis del riesgo en una situación de desastre, lo que naturalmente permite estudiar diversos escenarios de homeostasis del riesgo.

En este mismo enfoque y dada la capacidad de análisis y la obtención de resultados con alto potencial, aplicaciones reales para la sociedad y las comunidades involucradas como por el horizonte de análisis correspondiente a Junio 2016-Julio 2017, es que mencionamos las siguientes tesis que actualmente se encuentran en proceso de desarrollo y/o en etapas finales: "Low cost Virtual Reality application for building evacuation under emergency" (Díaz, A., 2017), "Agent-based simulation for tsunami evacuation process in the city of Talcahuano, Chile" (Herrera, Y., 2017), "Community Response Grid for Disaster Information Sharing" (Vergara, J., 2017), "Community Response Grid for Disaster Information Sharing" (Galdames, A., 2017), "A System Dynamics Decision-Making model for plinianic volcanic eruption evacuation under homostatic Risk Assessment" (Faverau, M., 2017), "Emergency Room Simulation Modeling under stress" (Lazo, C., 2017), "Surgery Room Planning and availability simulation study for Salvador Hospital" (Pangui, N., 2017), "Location, allocation and pre-positioning of multi-product stock in preparation and response to natural disasters" (Castillo, D., 2017), "A fast approach to solve the casualty transportation problem caused by a natural disaster in an urban area" (Millán, F., 2017), "Diseño de redes de distribución frente a desastres naturales en Chile" (Martínez, R., 2017) y "Determinantes en la decisión de evacuar y en la elección del tipo de refugio al cual recurrir tras un aluvión en Copiapó y tierra amarilla" (Huerta C., D., 2017). Evidentemente

esta son solo algunas de las tesis que se desarrollan en el área de Gestión y Toma de decisiones en eventos de desastres naturales perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Andrés Bello, las cuales se alinean con los aspectos definidos inicialmente.

## CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis expuesto, en función de los resultados satisfactorios del quehacer investigativo de la Universidad y de la Facultad de Ingeniería tanto de sus publicaciones en los periodos mencionados, los centros de investigación de la Universidad junto a otros en los que colabora junto a otras instituciones de carácter tanto público como privado, y además del primordial y evidente generación de capital humano, podemos concluir que la labor investigativa de la Universidad presenta un aumento estable en la producción científica en los periodos 2010-2013 y 2013-2016. Para este último periodo la producción WOS y SCOPUS mantiene crecimientos del 28.6% y 39.8% respectivamente. En relación a los proyectos del Fondo de Financiamiento de Centros de Investigación en Áreas Prioritarias (FONDAP) en los que participa la universidad, destacamos dentro de los 3 proyectos renovados, la propuesta de renovación por 5 años adicionales del Centro Nacional de Investigación para la Gestión de Desastres Naturales, el cual ya se encuentra financiado por 5 años desde 2015. Junto a los resultados satisfactorios de las actividades de colaboración y extensión con CIGIDEN, destacamos exclusivamente los resultados del DSMLab dado el trabajo conjunto realizado tanto con CIGIDEN como con instituciones estatales, privados y los diversos apoyos de los trabajos de tesis alineados con los objetivos del DSMLab, en este enfoque resaltamos los proyectos que se encuentran actualmente en proceso de desarrollo como lo son:

-Implementación del DSMLab para el Sistema Nacional de Operaciones y la Sala de Coordinación de Emergencias y Desastres: Proyecto en fase inicial, a desarrollarse bajo IDEA II de CONYCID.

-Plataforma de análisis de impacto económico post-desastre: Proyecto en fase inicial, a desarrollarse bajo CORFO.

-Tesis asociadas a la gestión de desastres: Los proyectos en desarrollo, ocupan las capacidades y/o generación conocimiento para el DSMLab en función del evento de desastre en que se enfoquen.

Además y en función de lo expuesto, destacamos la labor y la forma en que la Universidad se ha dedicado a la formación de profesionales y de capital humano avanzado, los que se desenvuelven en distintas industrias y en múltiples contextos afrontando situaciones difíciles e inciertas, en donde es clave el consenso de múltiples criterios junto a la toma de decisiones. Por esto la formación científica multidisciplinaria del capital humano es fundamental para generar organizaciones sustentables y eficientes tanto operacional, financiera, medioambiental y socialmente.

## Bibliografía

- Altay, N., & Green, W. G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175(1), 475–493. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.05.016>
- Bacon, L., & MacKinnon, L. (2012). Using Virtual and Augmented Reality to Create Realistic Training Events. *Compass: Journal of Learning and Teaching*, 3(6). <https://doi.org/10.21100/compass.v3i6.159>
- Becerra-fernandez, I., & Ph, D. (2007). Project Ensayo : A Virtual Emergency Operations Center,

(October), 2669–2686.

- Çelik, M., Ergun, Ö., Johnson, B., Keskinocak, P., Lorca, Á., Pekgün, P., & Swann, J. (2014). *Humanitarian Logistics. In INFORMS Tutorials in Operations Research*.  
<https://doi.org/10.1287/educ.1100.0078>
- de la Llera, J. C., Rivera, F., Mitrani-Reiser, J., Jünemann, R., Fortuño, C., Ríos, M., ... Cienfuegos, R. (2017). *Data collection after the 2010 Maule earthquake in Chile. Bulletin of Earthquake Engineering* (Vol. 15). <https://doi.org/10.1007/s10518-016-9918-3>
- Figueroa, R. A., & Cortés, P. F. (2016). Proposal to address the mental health problems detected after the February 27, 2010 earthquake. *Revista Médica de Chile*, 144(2), 247–52.  
<https://doi.org/10.4067/S0034-98872016000200014>
- Galindo, G., & Batta, R. (2013). Review of recent developments in OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 230(2), 201–211.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.01.039>
- Henríquez, C., Aspee, N., & Quense, J. (2016). Zonas de catástrofe por eventos hidrometeorológicos en Chile y aportes para un índice de riesgo climático. *Revista de Geografía Norte Grande*, 44(63), 27–44. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022016000100003>
- Herbert A. Simon, Dantzig, A. G. B., Hogarth, R., Piott, C. R., Schelling, T. C., Shepsle, K. A., ... Winter, S. (1987). *Decision Making and Problem Solving*, (September 2015), 1–21.
- Lindell, M. K., Prater, C. & Perry, R. W. (2006). *Wiley pathways introduction to emergency management*, John Wiley & Sons., 2006.
- Maldonado, L., Kronmuller, E., & Gutiérrez, I. (2016). Estrategia para la inferencia causal y planificación de estudios observacionales en las ciencias sociales: el caso de Chaitén post erupción del 2008. *Revista de Ciencia Política*, 36(3), 797–828. <https://doi.org/10.4067/S0718-090X2016000300010>
- Quarantelli, E. L. (1986). Preliminary paper #119 what should we study? questions and suggestions. *Aids*, (August).
- Shrivastava, M. N., González, G., Moreno, M., Chlieh, M., Salazar, P., Reddy, C. D., ... de la Llera, J. C. (2016). Coseismic slip and afterslip of the 2015 Mw 8.3 Illapel (Chile) earthquake determined from continuous GPS data. *Geophysical Research Letters*, 43(20), 10,710-10,719.  
<https://doi.org/10.1002/2016GL070684>
- Simonet, S., & Wilde, G. J. S. (1997). Risk: Perception, Acceptance and Homeostasis. *Applied Psychology*, 46(3), 235–252. <https://doi.org/10.1111/j.1464-0597.1997.tb01228.x>
- Vásquez, A., & Robledo, L. F. (2016). Disaster Management Simulation And Research Integration'S Virtual Test Bed Proposal For The Chilean National Research Center For Integrated Natural Disaster Management (CIGIDEN), 3028–3039.
- Wilde, G. (1982). The theory of risk homostasis: Implications for safety and health. *Risk Analysis*, 2, 209–225. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1982.tb01384.x>