

Lean Six Sigma applied to the reduction of seismic risks. Case Study in Ecuador

Luis Daniel Caamaño Gordillo, Magister en Gestión de la Productividad y la Calidad ¹,

¹Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, lcaamano@ups.edu.ec

Nadia Mercedes Mendieta Villalba, Magister en Ciencias en Administración de Seguridad Marítima²

²Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, nmendieta@ups.edu.ec

Abstract -- Ecuador is located in the area called Ring of Fire, why is constantly exposed to the presence of seismic events, however despite the threat has to face the country, there have been no further progress in the prevention of seismic risks, resulting in a high cost of human lives and infrastructure. Faced with this problem, and in order to reduce the level of vulnerability of the population, the following study proposes applying the approach Lean Six Sigma as a tool for prevention of seismic risk, using the methodology of problem solving called DMAIC (define, Measure, Analyze, Improve and Control). To better explain this method, a case study in Ecuador where they developed each of these stages was performed. In the end it is concluded that the proposed methodology is fully effective to improve the responsiveness of a country facing a natural disaster such as an earthquake.

Keywords– seism, earthquakes, lean six sigma, prevention, risks.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.281>

ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

Lean Six Sigma Aplicado a la Reducción de Riesgos Sísmicos. Caso de Estudio en Ecuador

Luis Daniel Caamaño Gordillo, Magister en Gestión de la Productividad y la Calidad ¹,

¹Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, lcaamano@ups.edu.ec

Nadia Mercedes Mendieta Villalba, Magister en Ciencias en Administración de Seguridad Marítima²

²Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, nmendieta@ups.edu.ec

Resumen– El Ecuador se encuentra localizado en la zona denominada cinturón de fuego del pacífico, motivo por el cual está expuesta constantemente a la presencia de eventos sísmicos, sin embargo a pesar de la amenaza que tiene que enfrentar el país, no han existido mayores avances en la prevención de riesgos sísmicos, lo cual resulta en un elevado costo de vidas humanas y de infraestructura. Frente a esta problemática, y con el propósito de reducir el nivel de vulnerabilidad de la población, el siguiente estudio propone la aplicación del enfoque Lean Six Sigma como herramienta de prevención de riesgos sísmicos, haciendo uso de su metodología de solución de problemas llamada DMAMC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar). Para explicar de mejor manera dicho método, se realizó un estudio de caso en Ecuador en donde se desarrollaron cada una de dichas etapas. Al final se concluye que la metodología propuesta es totalmente efectiva para mejorar la capacidad de respuesta de un país frente a un desastre natural como es un terremoto.

Palabras clave-- Sismos, terremotos, lean six sigma, prevención, riesgos

I. INTRODUCCIÓN

El Planeta tierra aproximadamente hace más de 180 millones de años formó parte de un mega continente llamado Pangea, que con el transcurrir del tiempo se fue separando en secciones, dando origen a los continentes que hoy en día conocemos; esta teoría surgió como parte de lo que se conoce como deriva continental, propuesta por el alemán Alfred Wegener en el año 1915, la cual establece que la capa concéntrica externa de la tierra llamada litósfera, está fragmentada en al menos 15 placas tectónicas, las cuales se mueven en diferentes direcciones interactuando entre si debido a celdas de convección que se forman desde la astenósfera, provocando que los continentes se desplacen lentamente año tras año, lo cual fue comprobado a través de diversas pruebas, las cuales demostraron que el perfil costanero oriental de Sudamérica coincide como parte de un gran rompecabezas con respecto a las costas occidentales de África, ratificando fuertemente dicha teoría.[1]



Fig. 1

Globo terráqueo antes y después

Entre las placas tectónicas mencionadas anteriormente existen límites, los cuales se encargan de crear nueva litósfera o consumirla según sea el caso; los límites convergentes son uno de ellos, los cuales se encargan de formar la mayor parte de las cadenas montañosas del planeta. Cuando dos placas tectónicas interactúan entre sí a través de un límite convergente, y en el caso de que una de ellas sea más densa que la otra, la placa más pesada se hundirá por debajo de la placa más liviana provocando un fenómeno denominado subducción.[1]

El Ecuador se encuentra justamente inmerso en una zona de subducción [2], en la cual la placa Nazca se desplaza por debajo de la placa sudamericana a una velocidad de 60 mm/año. Al interactuar las placas entre sí, se acumulan esfuerzos (energía) tanto en la zona de contacto, como en el interior de dichas placas, llegando un momento en que la corteza terrestre alcanza su máximo nivel de tolerancia, hasta que genera rupturas en las rocas, liberando súbitamente energía que se traslada en forma de ondas sísmicas, provocando de esa manera movimientos telúricos de baja y alta magnitud, lo que hace finalmente entender por qué el Ecuador se encuentra ubicado geográficamente en el “Cinturón de Fuego del Pacífico”, zona donde ocurren los terremotos más violentos del planeta.[3]



Fig. 2

Cinturón de Fuego del Pacífico

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.281>

ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

El “Cinturón de Fuego del Pacífico” en una zona considerada de alto riesgo sísmico, en donde han ocurrido los terremotos más destructivos del planeta. Esta zona geográfica inicia desde Nueva Zelanda y se extiende en forma de arco hacia la derecha en forma circular, pasando por Filipinas, Japón, la península de Kamchatka de Rusia y finalmente llegando a las costas de América del Norte y del Sur. En el caso de Ecuador, se registra un promedio de 2.600 eventos sísmicos al año, sin embargo su actividad sísmica inició en el año 1541 en la provincia de Napo, y desde ese momento hasta el 16 de Abril del 2016 se han producido 38 terremotos desastrosos en el país, a un ritmo promedio de un terremoto cada 12 años con aproximadamente más de 80.000 muertes [1] y miles de sobrevivientes a estos desastres naturales con trastornos psicológicos severos [4].

En base a lo anterior se puede indicar que la actividad telúrica en el Ecuador es alta, sin embargo, para evaluar el riesgo sísmico hay que considerar 2 componentes muy importantes, que son la amenaza (peligro) y el grado de vulnerabilidad. El primer componente que es la amenaza, es un fenómeno natural constituido por los terremotos que está directamente ligada con la dinámica del planeta tierra, el cual está en constante movimiento, por lo tanto es imposible evitar que suceda, ya que como seres humanos no tenemos control sobre el entorno que nos rodea.

La vulnerabilidad sin embargo tiene que ver con la capacidad que tiene la sociedad dentro de un país o nación para soportar un sismo de alta intensidad a nivel humano, técnico y económico, es decir, que tan preparados podemos estar para afrontar un fenómeno natural perturbador en el que el costo de pérdidas humanas y materiales sea el menor posible; para esto es necesario trabajar en lo que concierne a la prevención, lo cual involucra ejecutar planes de educación dirigidos a la población para saber qué hacer en caso de terremotos y la creación y cumplimiento de códigos de construcción para mejorar la resistencia estructural de edificaciones. Por lo tanto para disminuir el riesgo sísmico en el Ecuador, es necesario crear estrategias para reducir la vulnerabilidad.

Con el propósito de contribuir al conocimiento en el campo de prevención de riesgos sísmicos, y de disminuir los niveles de vulnerabilidad del Ecuador para enfrentar un terremoto de alta magnitud, a través del presente artículo, se propone el uso del enfoque Lean Six Sigma como arma estratégica de un país para fortalecer y mejorar la capacidad de respuesta de la población frente a este tipo de fenómenos naturales destructivos [5].

Lean Six Sigma es una metodología híbrida ampliamente reconocida a nivel mundial en el sector industrial, la cual combina 2 grandes enfoques históricamente exitosos llamados Producción Esbelta y Six Sigma. La Producción esbelta es un enfoque de mejoramiento de la productividad a partir de la reducción de desperdicios, el cual se comenzó a desarrollar en la industria occidental a partir de 1980 [6], pero sus orígenes se remontan a 1948 con el Sistema de Producción Toyota, desarrollado por Taiichi Ohno [7], un ingeniero mecánico Japonés que a partir de ideas originales aprendidas de su experiencia en el sector textil (Actividad industrial con la que inicio Toyota), combinadas con buenas prácticas de manufactura aprendidas en la industria occidental, logró crear un sistema de producción más flexible, con mayor capacidad de adaptación a las necesidades del cliente, al mismo tiempo que ayudaba a mejorar la eficiencia de la operación a partir de la eliminación de todas aquellas actividades que no agregaban valor al proceso, consideradas como desperdicio (Muda en japonés) entre las que se encuentran: sobreproducción, transportes, esperas, inventarios, reprocesamiento, movimientos innecesarios [8], lo que finalmente repercutía en una inminente reducción de costos operacionales.

Por otro lado Six Sigma es una iniciativa que nació en Motorola en 1980 [9], la cual consiste en reducir el número de defectos en los productos haciendo hincapié en la aplicación de métodos estadísticos [10] para controlar las desviaciones del proceso, teniendo un éxito rotundo. A partir de ahí, el enfoque Six Sigma se comenzó a aplicar en compañías de talla mundial como lo son: General Electric, Sony, Honeywell, Caterpillar y Johnson & Johnson entre otras. Six Sigma es una metodología sistemática que se basa en un procedimiento de mejoramiento llamado DMAMC, cuyas iniciales son el significado de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.

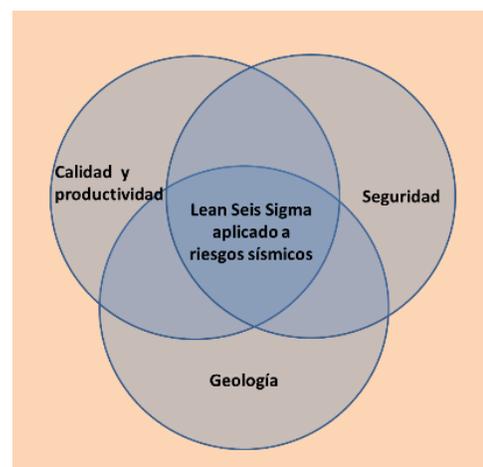


Fig. 3
Lean Six Sigma aplicado a Riesgo sísmico

Si bien es cierto, los enfoques de Producción Esbelta y Six Sigma nacieron en el sector de la manufactura, sin embargo, al transcurrir el tiempo, se demostró que estas mismas metodologías pueden ser implementadas con éxito en el sector de servicios, como por ejemplo, es el caso de los hospitales [11], instituciones financieras, entre otras. Por lo tanto, Lean Six Sigma es una metodología combinada que ha dado resultados satisfactorios en diferentes sectores [12], mejorando la calidad y productividad al menor costo posible de miles de organizaciones de talla internacional. Es por eso que el día de hoy se quiere proponer el uso de esta herramienta en el mundo de la geología, poniéndola al servicio de la prevención del riesgo sísmico. A continuación se esquematiza la combinación del enfoque Lean Six Sigma con la prevención de riesgo sísmico:

II. METODOLOGÍA DMAMC PARA RIESGOS SÍMICOS

A continuación se explicará cada una de las etapas que componen el procedimiento de mejoramiento llamado DMAMC [13] de la metodología Lean Six Sigma, y como se puede adaptar al terreno de prevención de riesgos sísmicos:

Definir

En esta primera etapa se debe establecer una correcta planificación, en donde se debe definir el problema, el propósito del proyecto, el alcance, las necesidades que deben ser atendidas, los roles y responsabilidades, recursos, métricas y entregables para el proyecto.

Medir

La etapa de medición consiste en comprender y cuantificar la dimensión del problema, para lo cual se debe definir el proceso a nivel más detallado para identificar de mejor manera el flujo de trabajo que se lleva a cabo actualmente, asimismo, se debe utilizar métricas o indicadores que expliquen con mayor nivel de detalle la problemática; para esto se utilizan en su gran mayoría herramientas estadísticas que ayudan a entender el comportamiento de los datos que son parte de la medición.

Analizar

En esta tercera etapa, se debe identificar la causa raíz o causas raíces que están provocando el problema, entender la naturaleza de dichas causas y porqué se originan, lo cual se debe confirmar con datos o fuentes confiables.

Mejorar

Una vez identificada la(s) causa(s) raíz, se deben dar o proponer ideas orientadas a generar soluciones que ataquen dichas causas, reduciendo de esa manera los efectos negativos

que conllevan a la materialización del problema.

Controlar

En esta fase última fase, se debe desarrollar un plan o un sistema que se encargue de mantener las mejoras implementadas, esta etapa es considerada la más difícil de todas, porque las soluciones implementadas deben resistir la prueba del tiempo para no volver a repetir los problemas del pasado.

III. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE CASO

En los siguientes apartados, se desarrolla un estudio de caso en donde se amplía la explicación de cada una de las etapas de la metodología Lean Six Sigma orientadas a la prevención de riesgos sísmicos.

A. *Definir*

El 16 de Abril del 2016 a las 18h58 ocurrió un terremoto de magnitud 7.8 [14] en el norte de Ecuador, cuyo epicentro se localizó entre la zona de Pedernales y Cojimíes a una profundidad de 20 Km, el cual fue sentido en todo el país, dejando como consecuencia un total de 663 personas fallecidas, de las cuales 649 pertenecieron a la provincia de Manabí. Este fenómeno natural se originó debido a la subducción de la placa Nazca por debajo de la placa sudamericana, provocando la ruptura de una sección de placa, liberando energía en forma de ondas sísmicas. Desde dicha fecha hasta la actualidad, se han registrado 1570 réplicas [15].

Con el propósito de aprender de las lecciones que deja un fenómeno natural, como es el caso de un terremoto, es necesario planificar acciones encaminadas no solamente a monitorear eventos sísmicos, sino a reducir las pérdidas humanas, es por eso que a continuación se propone un marco de proyecto lean six sigma enfocado en la prevención de riesgo sísmico, tal como se muestra en la tabla 1.

La Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) y el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN) son entidades con amplia trayectoria en prevención de riesgos y monitoreo sísmico respectivamente, por lo que podrían coordinar acciones para llevar a cabo un proyecto lean six sigma enfocado en la prevención de riesgos sísmicos que ayude a reducir el número de fallecidos debido a un terremoto.

B. *Medir*

Como parte de la etapa de medición a continuación se muestran datos que cuantifican la magnitud del problema en cuanto a pérdidas de infraestructura, personas fallecidas y costos en general.

En la tabla 2 se muestra las afectaciones de vivienda provocadas por el terremoto del 16 de Abril en donde aproximadamente 35264 residencias se vieron afectadas, de las cuales 18922 (54%) son de la zona urbana, y 16342 (46%) pertenecen a zonas rurales.

TABLA I
MARCO DE PROYECTO LEAN SIX SIGMA

Elemento del Proyecto	Descripción
Propósito	Mejorar el sistema de prevención de riesgos sísmicos en el Ecuador
Problema	El Ecuador se encuentra en una zona altamente sísmica, provocando hasta el momento 38 terremotos que han dejado más de 80.000 personas fallecidas
Objetivo	Reducir el número de personas fallecidas, pérdidas de infraestructura y costo de recuperación en un próximo terremoto.
Alcance	Este proyecto se aplica para territorio ecuatoriano.
Entidades responsables	<ul style="list-style-type: none"> • Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (SGR) • Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (IGEPN) • Comités de Operaciones de Emergencia (COE) • Autoridades locales por cantón.
Recursos	Humanos, técnicos y económicos
Métricas	<ul style="list-style-type: none"> • N° de personas fallecidas después de un evento sísmico. • Costo de Recuperación
Entregables	Informes que muestren los resultados obtenidos al final del evento sísmico para verificar el cumplimiento

TABLA II
DAÑOS EN VIVIENDA

Tipo de vivienda	Tipo de daño			% viviendas afectadas
	Cantidad	Colapsadas o por demoler	Seguras	
Urbana	18922	13962	4960	54%
Rural	16342	15710	632	46%
Total viviendas afectadas	35264	29672	5592	100%

5592 viviendas fueron consideradas seguras con ciertas reparaciones que se les debe realizar. Se puede observar que aunque existen mayor cantidad de viviendas afectadas en la zona urbana, las casas colapsadas o por demoler en la zona rural son mayores, lo que significa que en estas zonas existe mayor vulnerabilidad.

Las pérdidas no solamente se limitaron a las viviendas; como se observa en la tabla 3, se afectó la infraestructura a

nivel de salud, educación, transporte, telecomunicaciones entre otras.

TABLA III
Infraestructura afectada

Tipo de Infraestructura	Cantidad
Establecimiento de Salud	51
Escuelas	875
Universidades	11
Centros infantiles	72
Inmuebles patrimoniales	243
Estaciones celulares	179
Equipos de telefonía e internet fijo	108
Carreteras	31
Puentes	7

Continuando con la medición de las pérdidas ocasionadas por el terremoto del 16 de Abril del 2016, el número total de fallecidos es de 663 personas. En la figura 4 se muestra un diagrama de Pareto de personas fallecidas por Cantón, donde aproximadamente el 80% de las muertes ocasionadas por el terremoto se originaron en los cantones de Manta, Pedernales y Portoviejo.

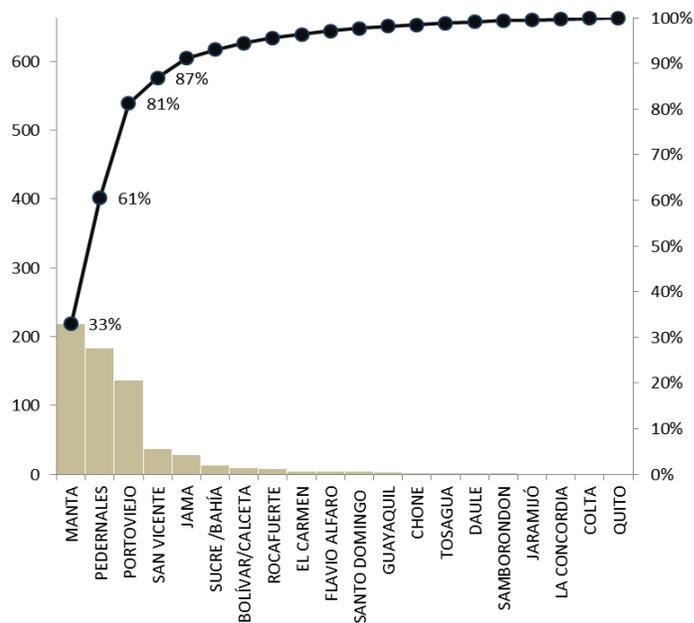


Fig. 4:
Diagrama de Pareto de Fallecidos

El costo de recuperación de vivienda, educación, salud, sector productivo y del resto de infraestructura del país asciende a un monto de 3.343,8 millones de dólares, cuya distribución se muestra en la figura 5:

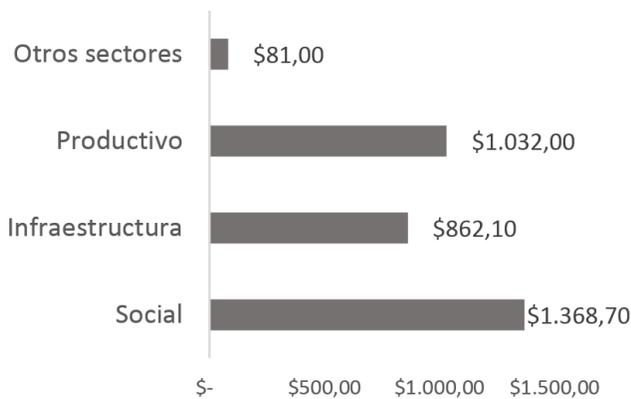


Fig. 5.
Costo de Recuperación (millones de dólares)

De acuerdo a la figura 5, el mayor costo de recuperación se encuentra en el sector social, que está conformado por vivienda, salud, educación y patrimonio cultural, seguido del sector productivo, constituido por la manufactura, el comercio, los servicios turísticos y la agricultura, ganadería, acuicultura pesca, entre otras.

Del total de pérdidas que se han explicado, existe uno que es imposible de recuperar, que es la vida de un ser humano; por lo que es necesario que todos los esfuerzos se centren en reducir el número de fallecidos en un desastre natural de gran magnitud.

C. Analizar

Una vez que se ha cuantificado la magnitud del problema y las millonarias pérdidas humanas, técnicas y económicas provocadas por un terremoto en un país, es necesario analizar las principales variables que generan estos resultados desalentadores.

Para estudiar de mejor manera las posibles variables que generan estos resultados, a continuación se realiza un análisis causa-efecto a partir del diagrama Ishikawa [16] para detectar las posibles causas de los daños acontecidos, considerando que se debe hacer esfuerzos para encontrar la(s) causa(s) raíz en las vulnerabilidades y no en la amenaza, ya que esta última es imposible de evitar.

De acuerdo a la figura 6, en el diagrama Ishikawa (causa-efecto) se puede observar las posibles causas que generan el siguiente efecto: Alto costo de pérdidas humanas y de infraestructura. Los factores que se analizaron fueron 3: Personas, Métodos e Infraestructura, y para encontrar las

diferentes causas de cada uno de estos factores, se utilizó la técnica de los 5 Por qué, con el propósito de profundizar en la búsqueda y detectar las posibles causa(s) raíz.

Entre las posibles causas raíces se detectaron las siguientes:

1. Inadecuada estrategia de capacitación masiva, lo cual genera falta de preparación y al final se obtiene como resultado desconocimiento de la población de cómo actuar ante sismos.
2. Bajos recursos económicos, lo cual impide a ciertos sectores de la población adquirir materiales de construcción de buena calidad.
3. Falta de auditoria o control en el cumplimiento del código ecuatoriano de la construcción.
4. Métodos ineficaces de detección temprana de sismos.
5. Escasa difusión de métodos de prevención ante sismos.
6. Escasa práctica de simulacros ante sismos.
7. Escasa coordinación entre entidades de apoyo.

Para validar las posibles causas raíces enumeradas en el apartado anterior, es necesario comprobarlas con datos, para lo cual se obtuvo información a partir de fuentes primarias y se aplicaron 450 encuestas distribuidas en diferentes sectores de la población para verificar la mayor parte de las causas raíces identificadas.

¿Ha participado en Simulacros de Evacuación?



Fig. 7: Participación en Simulacros

Como se puede observar en la figura 7, el 41% de las personas encuestadas indicó que nunca ha participado en simulacros de evacuación ante un escenario de sismo, lo cual eleva el nivel de vulnerabilidad en la población, ratificando la causa raíz número 6 (escasa práctica de simulacros frente a sismos).

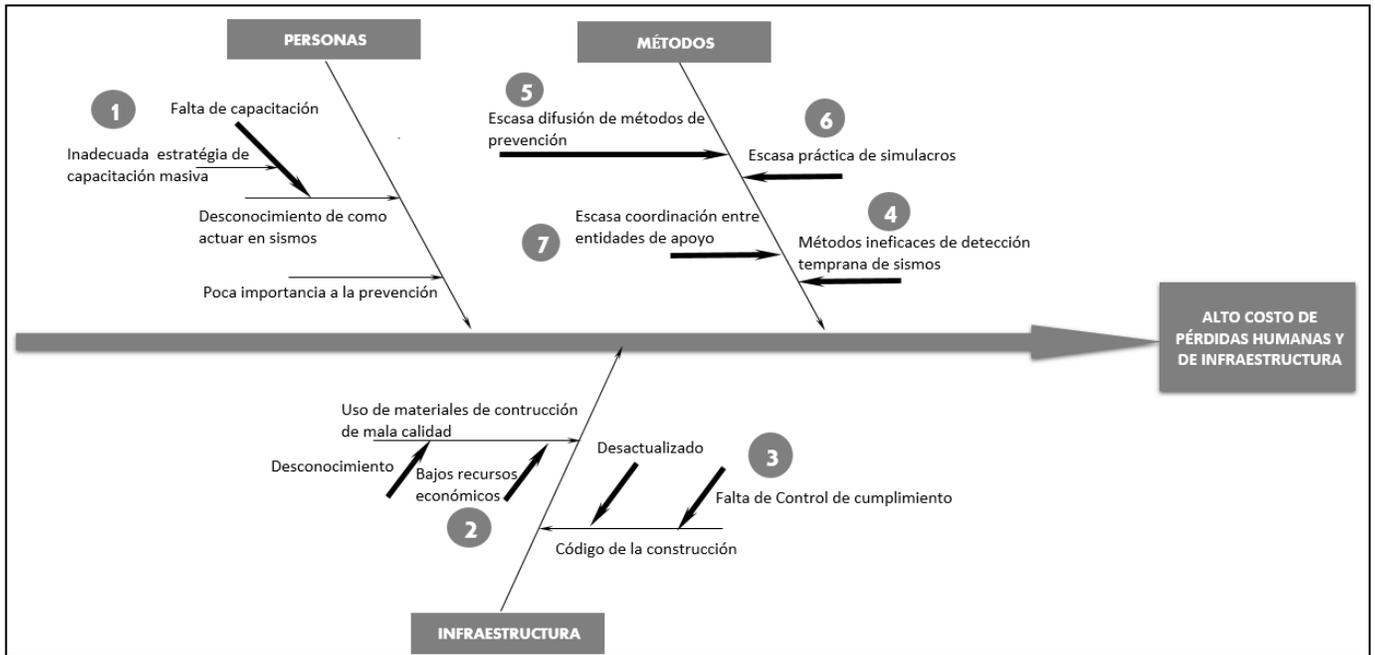


Fig. 6:
Diagrama Ishikawa (Causa-Efecto)

Durante un terremoto
¿Cuál sería la zona de seguridad dentro de la casa?

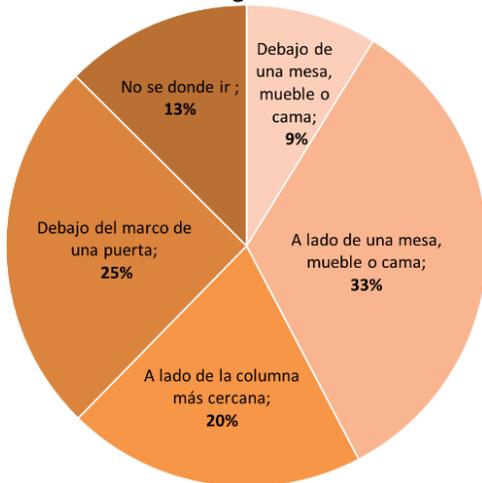


Fig. 8: Zona de seguridad dentro de la casa

En cuanto a la zona de seguridad en el interior de la casa, en el momento de ocurrir un terremoto, se puede apreciar en la figura 8, que el 33% de los encuestados opta por colocarse a lado de una mesa, mueble o cama, y esto se debe en su mayoría a la difusión de lo que se conoce como “triángulo de la vida”, sin embargo esta técnica de supervivencia no está probada ni aceptada por la comunidad científica que trabaja en prevención de riesgos.

Un resultado sorprendente es que el 9% de los encuestados indicaron que en el caso de presentarse un terremoto, se colocarían por debajo de una mesa, mueble o cama, y justamente dicha forma de protección es la que promulga la comunidad de sismología en el mundo a través de lo denominan “agacharse, cubrirse y agarrarse”[17].

¿A Qué cree que se debe la magnitud del daño provocado por el terremoto del 16 de Abril?

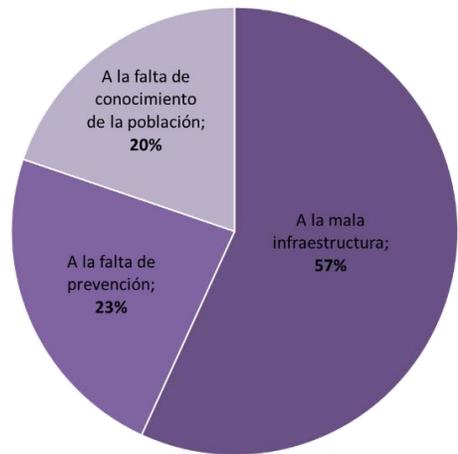


Fig. 9: Magnitud de Daños

Así mismo, en el momento que se le preguntó a los encuestados sobre la magnitud de los daños ocurridos durante el terremoto del pasado 16 de Abril, más de la mitad (57%) respondió que los daños se produjeron por la mala infraestructura de las viviendas; Al comparar este resultado

con el daño de las viviendas que se pueden observar en la tabla 2, existe un mayor número de residencias colapsadas en el sector rural, zona donde existen altos niveles de pobreza, lo cual ratifica una de las causas raíces mostrada en el diagrama Ishikawa, la cual indica que los bajos recursos económicos impiden a ciertos sectores de la población adquirir materiales de construcción de buena calidad. Es importante indicar que a esta causa se suma la falta de auditoría y control del código ecuatoriano de la construcción [18].

¿Considera usted que Ecuador cuenta con la suficiente cultura para atender una situación de emergencia ante una amenaza sísmica?

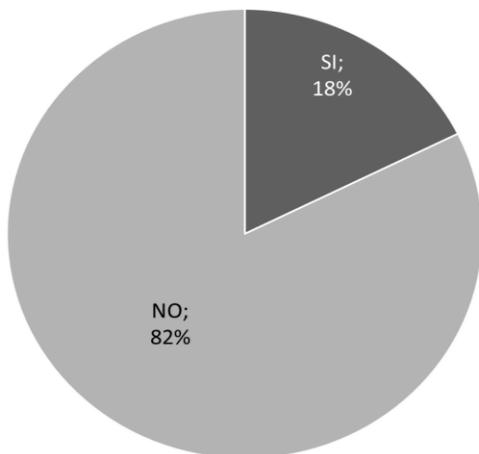


Fig. 10: Cultura para enfrentar una amenaza sísmica

De acuerdo a los resultados obtenidos, en la figura 10, se puede observar que el 82% de la población opinó que el Ecuador no cuenta con la suficiente cultura para atender una situación emergencia ante una amenaza sísmica, lo cual se puede deber a una escasa difusión de métodos de prevención ante sismos, práctica de simulacros y coordinación entre entidades de apoyo.

A más de las encuestas realizadas, se recolectaron datos de los eventos sísmicos registrados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN) antes de ocurrido el terremoto del 16 de Abril, los cuales fueron ordenados y analizados [19].

En la figura 11 se muestran el número de sismos ocurrido por provincias, en donde se puede notar que existe un total de 41 sismos registrados en Manabí, el cual es un número considerable si se lo compara con el resto de provincias.

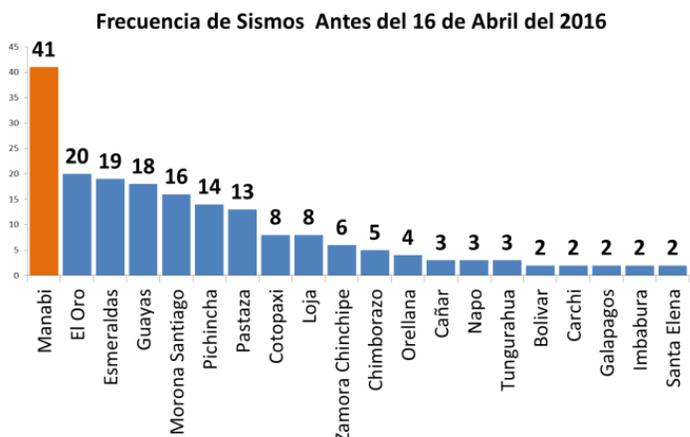


Fig. 11: Frecuencia Sísmica antes del terremoto del 16 de Abril del 2016

A continuación, en la figura 12, se puede visualizar el comportamiento de la frecuencia de las réplicas originas después del terremoto del 16 de Abril, en donde casi el 60% de los sismos se dan en la provincia de Manabí.

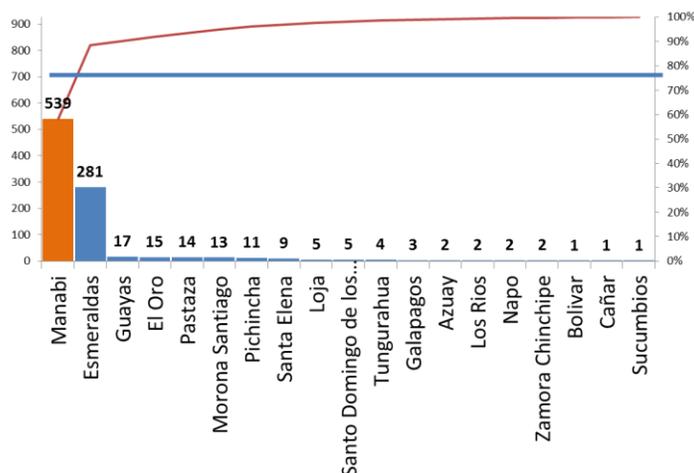


Fig. 12: Frecuencia Sísmica Después del terremoto del 16 de Abril del 2016

A partir del análisis de las figuras 11 y 12, es importante indicar que si es posible mejorar los métodos de detección temprana de eventos sísmicos con el propósito de preparar la capacidad de respuesta preventiva de una comunidad.

D. Mejorar

Una vez identificadas y validadas con datos las causas raíces que generan la mayor parte de los problemas de vulnerabilidad de una población frente a un sismo, a

continuación se generan propuestas de soluciones para reducir o eliminar dichas causas.

Por cada causa raíz identificada, a continuación se proponen alternativas de solución que ayuden a reducir o eliminar dichas causas:

Alternativas de solución para reducir causa raíz 1: Inadecuada estrategia de capacitación masiva.

- Identificar a mayor detalle las principales debilidades de conocimiento que tiene la población en cuanto a riesgo sísmico.
- Desarrollar un Plan de Capacitación y entrenamiento masivo en base a dichas necesidades.
- Ejecutar las capacitaciones de forma frecuente.
- Medir el número de personas capacitadas al año.

Alternativas de solución para reducir causa raíz 2: Bajos recursos económicos en la población.

- Crear estrategias que dinamicen la economía de zonas con alto nivel de pobreza para mejorar el nivel de vida de la población de estos sectores del país, y finalmente esto incida en la calidad de vivienda utilizada.

Alternativas de solución para reducir causa raíz 3: Falta de control en el cumplimiento del código ecuatoriano de la construcción.

- Aumentar la frecuencia de actualización del código ecuatoriano de la construcción.
- Implementar auditorías de control de cumplimiento del código ecuatoriano de la construcción, el cual puede ser ejecutado por el Ministerio de Desarrollo Urbano y vivienda.
- Desarrollar e implementar métodos para inspeccionar la calidad de los materiales de construcción comercializados en el país.

Alternativas de solución para reducir causa raíz 4: Métodos ineficaces de detección temprano de sismos.

- Implementar tecnología y desarrollar métodos matemáticos o estadísticos no solamente para medir la magnitud e intensidad de un sismo, sino para tomar decisiones oportunas enfocadas en la prevención de riesgos sísmicos.

Alternativas de solución para reducir causa raíz 5: Escasa difusión de métodos de prevención.

- La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos en conjunto con el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, deben desarrollar estrategias para crear mayores publicaciones de métodos enfocados en la prevención de riesgos sísmicos.

Alternativas de solución para reducir causa raíz 6: Escasa práctica de simulacros.

- Se debe desarrollar mayor cantidad de simulacros y escenarios enfocados en riesgo sísmico, los cuales deben empezar a implementarse en las zonas de mayor vulnerabilidad, el cual puede ir acompañado de un plan de capacitación.

Alternativas de solución para reducir causa raíz 7: Escasa coordinación entre entidades de apoyo.

- Debe crearse mayor sinergia interdisciplinaria entre instituciones como son: La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos y el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional para promover en conjunto políticas, procedimientos, instructivos entre otros, necesarios para fomentar la prevención de riesgos sísmicos.

Las alternativas de solución que se han propuesto, es necesario implementarlas en esta etapa, para posteriormente seguir con la fase de control.

E. Controlar

En la etapa de controlar, es necesario que las mejoras que se propusieron en la sección anterior, se implementen y se mantengan a lo largo del tiempo, es por eso que se requiere de un marco legal que ayude a la creación de políticas públicas, normas y reglamentaciones que sean auditables en el tiempo y lograr que las mejoras que se implementen soporten la prueba del tiempo y que las futuras generaciones estén mejor preparadas y sean menos vulnerables a un evento sísmico.

IV DISCUSIÓN

La aplicación de Lean Six Sigma explicada a través del caso de estudio, demuestra una innovación metodológica en el campo de la prevención de riesgos sísmicos. Si bien es cierto, hasta la actualidad se han realizado esfuerzos para investigar de diferentes maneras como medir y evaluar el riesgo sísmico en todo el mundo [20] [21] [22], no obstante no se ha presentado un método basado en Lean Six Sigma que vaya desde la definición hasta el control de la vulnerabilidad sísmica en un país.

V. CONCLUSIONES

En el artículo se presentaron cada una de las etapas que conforman la metodología lean six sigma y como puede ser aplicada para la prevención de riesgos sísmicos. Para explicar de forma más detallada dicho enfoque, se llevó a cabo el estudio de un caso ocurrido en el Ecuador, en donde se desarrolló de forma más ampliada cada una de la etapas de la metodología DMAMC, y por lo tanto se concluye que el enfoque lean six sigma es una metodología que al ser utilizada en el mundo de la sismología ayudaría significativamente a

reducir la vulnerabilidad de una población frente a un terremoto.

REFERENCIAS

[1] F. Rivadeneira *et al.*, *Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador*. Quito, 2007.

[2] C. Beauval *et al.*, “An earthquake catalog for seismic hazard assessment in Ecuador,” *Bull. Seismol. Soc. Am.*, vol. 103, no. 2 A, pp. 773–786, 2013.

[3] R. Bethany, “Ring of fire.” California, pp. 1–403, 1998.

[4] S. Lima, B. R., Chávez, H., Samaniego, N., & Pai, “Psychiatric disorders among emotionally distressed disaster victims attending primary mental health clinics in Ecuador,” *Bull. Pan Am. Health Organ.*, vol. 26, no. 1, pp. 60–66, 1992.

[5] M. George, *Lean Six Sigma*. McGraw-Hill, 2015.

[6] A. Ackermann, [*Causes of complications from mandibular fractures and their prevention*], vol. 72, no. 10. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1979.

[7] M. Holweg, “The genealogy of lean production,” *J. Oper. Manag.*, vol. 5, no. 6, pp. 527–532, 2007.

[8] B. Wheat, C. Mills, and M. Carnell, *Leaning into Six Sigma: A parable of Journey to Six Sigma and a Lean Enterprise*. New York: NY: McGraw-Hill, 2003.

[9] S. M. Shafer and S. B. Moeller, “The effects of Six Sigma on corporate performance: An empirical investigation,” *J. Oper. Manag.*, vol. 30, no. 7–8, pp. 521–532, 2012.

[10] X. Zu, L. D. Fredendall, and T. J. Douglas, “The evolving theory of quality management: The role of Six Sigma,” *J. Oper. Manag.*, vol. 26, no. 5, pp. 630–650, 2008.

[11] Y. Benitez, L. Forrester, C. Hurst, and D. Turpin, “Hospital reduces medication errors using DMAIC and QFD,” *Qual. Prog.*, vol. 40, no. 1, pp. 38–45, 2007.

[12] M. Arndt, “Quality Isn’t Just for Widgets,” *BusinessWeek: magazine*, pp. 3–4, 2002.

[13] H. Gutiérrez Pulido and R. Vara Salazar, *Control Estadístico de calidad y seis sigma. 2da Edición*, 2da Edición. Guadalajara, México: McGraw-Hill, 2009.

[14] SNGR, “Informe de Situación y Afectación,” 2016.

[15] SNGR, “INFORME DE SITUACION N°71 del 19/05/2016 (20h30) Terremoto 7.8 ° - Pedernales,” 2016.

[16] H. Kume, *Statistical Methods for Quality Improvement*, First Edit. AOTS, 1985.

[17] I. Pearce *et al.*, “7 steps to a Disaster Resilient Workplace,” California, 2016.

[18] Inen, “Codigo Ecuatoriano de la Construcción,” 2001.

[19] IGEPN, “Mapas e Informes Sísmicos,” 2016. [Online]. Available: <http://www.igepn.edu.ec/portal/ultimo-sismo/informe-ultimo-sismo.html>.

[20] M. L. Carreño, A. H. Barbat, and O. D. Cardona, “Método numérico para la evaluación holística del riesgo sísmico utilizando la teoría de conjuntos difusos,” *Rev. Int. Metod. Numer. para Calc. y Disen. en Ing.*, vol. 30, no. 1, pp. 25–34, 2014.

[21] R. Bossu *et al.*, “LastQuake: From rapid information to global seismic risk reduction,” *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, vol. 28, no. November 2017, pp. 32–42, 2018.

[22] Y. Shi and K. Seeland, “Using RISKPLAN for Earthquake Risk Assessment in Sichuan Province, China,” *Sustainability*, vol. 11, no. 6, p. 1812, 2019.