

Políticas para mejorar la resiliencia ante grandes accidentes



Leire Labaka-Zubieta
Josune Hernantes-Apezetxea
Ana Laugé-Eizaguirre
Jose Mari Sarriegi-Domínguez

Ingeniera Industrial
Dra. Ingeniería Informática
Ingeniera en Organización Industrial
Dr. Ingeniero Industrial

TECNUN. ESI. Pº Manuel Lardizábal, 13 - 20018 San Sebastián. Tfno: +34 943 219877.
llabaka@tecnun.es

Recibido: 15/02/2012 • Aceptado: 04/06/2012

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/4657>

POLICIES TO ENHANCE THE RESILIENCE LEVEL IN CASE OF MAJOR ACCIDENTS

ABSTRACT

• Society's welfare is very dependent on the effective performance of Critical Infrastructure (CI). Nowadays, CIs constitute a network of interconnected and interdependent entities what means that a serious event in one CI can originate cascading events in the rest, leading to a serious crisis. A major accident can be defined as a crisis which unfolds due to an interruption in a CI. Resilience is the intrinsic ability of a system to reduce the failure probability of the system and once the crisis occurs to react to and recover from disturbances at an early stage causing minimal effect and allowing the continuity of operations. For the case of major accidents, we define two system's resilience levels: the resilience level of the CI (internal resilience) and the resilience level of the society (external resilience). There are several discussions in the literature about the resilience concept, but there is little information about how we can improve it. The purpose of this paper is to provide a set of policies to improve the resilience level. Through the literature review we analyze the resilience concept and propose the most adequate definition for our research. Twelve mitigation policies in order to increase the level of resilience are identified in the workshops with domain experts and finally these policies were reaffirmed by case studies.

• **Keywords:** Resilience, Critical Infrastructure, Crisis Management, Major Accidents, Mitigation Policies.

RESUMEN

El bienestar de la sociedad es cada vez más dependiente del buen funcionamiento de las *Infraestructuras Críticas* (ICs), que actualmente son interdependientes entre sí, lo que hace que un accidente en una de ellas se extienda posteriormente a otras, afectando así a toda la sociedad. Un gran accidente se puede definir como una crisis que comienza debido a una incidencia en una IC.

Se entiende por resiliencia la capacidad intrínseca del sistema para reducir la probabilidad de fallo del sistema y, una vez que éste ocurre, la capacidad para reaccionar y recuperarse lo antes posible, reduciendo los posibles impactos y permitiendo la continuidad de los procesos.

En el caso de grandes accidentes, la resiliencia del sistema se divide en dos: la

resiliencia de la IC (resiliencia interna) y la resiliencia de la sociedad (resiliencia externa). En la literatura se discute mucho acerca del concepto de resiliencia, pero existen pocas referencias acerca de cómo mejorarla.

El objetivo de este artículo es proporcionar una serie de políticas para mejorar el nivel de resiliencia. Mediante la revisión bibliográfica se analiza el concepto de resiliencia proponiendo la definición más adecuada para nuestra investigación. Mediante sesiones de trabajo con expertos en el tema se identifican doce políticas de mitigación que ayudan a fomentar el nivel de resiliencia y por último dichas políticas son ratificadas mediante casos de estudio.

Palabras Clave: Resiliencia, Infraestructura Crítica

ca, Gestión de Crisis, Grandes Accidentes, Políticas de Mitigación.

1. INTRODUCCIÓN

Las *infraestructuras críticas* (ICs) son sistemas o bienes, ya sean físicos o virtuales, vitales para el bienestar de la sociedad, ya que su mal funcionamiento o indisponibilidad tienen impactos en la seguridad, en la económica, en la salud o en otros ámbitos (Rinaldi, 2004). Aunque no haya un listado único para definir las ICs, Rinaldi (2004) propone los siguientes sectores: red de energía eléctrica, producción, transporte y distribución del petróleo y gas natural, sistemas de información y telecomunicación, sistemas de agua, redes de transporte, sector financiero, industria química, agricultura y alimentación y redes de salud pública.

Una de las principales características de las ICs actuales es su interdependencia. Un incidente que da lugar a un mal funcionamiento de una de ellas puede propagarse a otros, generando una crisis. Por ejemplo, si ocurre un corte de luz prolongado, los hospitales no pueden continuar sus actividades habituales y las industrias tienen que parar su producción a menos que dispongan de generadores autónomos. Por lo tanto, las ICs no se pueden considerar como entidades aisladas, sino como una red de elementos interconectados e interdependientes. Teniendo en cuenta la importancia del buen funcionamiento de las ICs para el bienestar de la sociedad, es necesario fortalecer las medidas de prevención y preparación ante accidentes graves.

Un gran accidente se puede definir como una crisis que comienza en una IC debido a una incidencia en la propia infraestructura o en uno de sus elementos. Algunos ejemplos de estos accidentes podrían ser un derrame de petróleo, un apagón, un accidente aéreo o un accidente nuclear. Dependiendo del nivel de resiliencia (la capacidad del sistema para primeramente reducir la probabilidad de fallo y, una vez que ocurra la crisis, para responder y recuperarse lo antes posible a la situación inicial) de la IC donde suceda el accidente y de la red en la que se encuentre, puede que el sistema absorba dicho evento y evite la crisis o puede que no evite la crisis pero pueda que reduzca su magnitud o la resuelva antes.

El objetivo principal de este artículo es identificar y definir políticas de mitigación que se puedan implementar para incrementar el nivel de resiliencia del sistema. El artículo se estructura de la siguiente manera. En la segunda sección se realiza un estado del arte acerca del concepto resiliencia y sus características. En el siguiente apartado se describe la metodología que se ha utilizado para llevar a cabo la investigación. En la cuarta sección se propone la definición más apropiada para el concepto de resiliencia y se identifican dos tipos de resiliencia. Las políticas de mitigación que mejoran el nivel de resiliencia son presentadas en la quinta sección. Por último, se enumeran las principales conclusiones del artículo.

2. ESTADO DEL ARTE

Hay dos tendencias a la hora de definir el concepto de resiliencia. Algunos autores consideran que la resiliencia sólo implica la capacidad del sistema para responder reactivamente (Figura 1a), mientras que otros extienden esta perspectiva añadiendo que la resiliencia también ayuda a prevenir y detectar fallos para evitar que ocurran las crisis (Figura 1b).

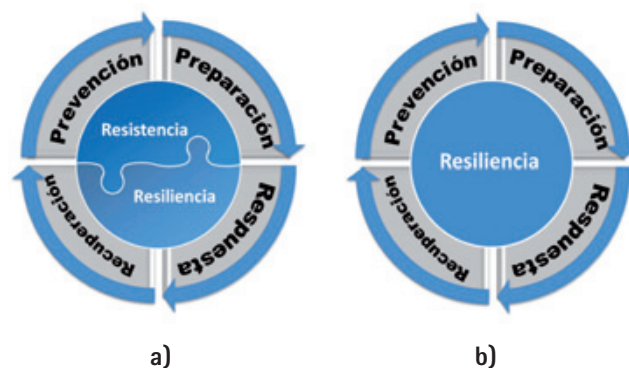


Figura 1: Las dos tendencias a la hora de definir la resiliencia (Fuente propia)

Longstaff (2005) diferencia entre la respuesta proactiva y la respuesta reactiva definiendo dos conceptos distintos: resistencia y resiliencia respectivamente. Este mismo autor define la resistencia como la estrategia que en primer lugar intenta evitar que el sistema se dañe y la resiliencia como la capacidad del sistema para absorber impactos, desarrollar cambios y todavía conservar esencialmente la misma función, estructura, identidad y retroalimentación del sistema. En la misma línea, McEntire (2005) y Mileti (1999) también definen resistencia y resiliencia para diferenciar la respuesta proactiva de la respuesta reactiva. Vogus y Sutcliffe (2007) enfocan la resiliencia como la capacidad del sistema para recuperarse de los eventos inesperados sin tener en cuenta la habilidad para evitar errores o accidentes inesperados.

Sin embargo, en contra de esta tendencia, otros autores argumentan que la resiliencia debería ser entendida no sólo como la capacidad del sistema para responder adecuadamente sino también para evitar y prevenir fallos y daños. Bruneau et al (2003) definen resiliencia como la capacidad del sistema para reducir la probabilidad de fallo, reducir sus consecuencias y reducir el tiempo para cubrir todas las acciones de respuesta y recuperación.

Kahan et al. (2009) se centran en la resiliencia de las infraestructuras críticas asumiendo que es una medida de resultado con el fin de limitar el daño a las infraestructuras (resistencia), mitigar las consecuencias (absorción) y volver al estado inicial (recuperación).

Holnagel et al (2006) introducen la dimensión dinámica al concepto de la resiliencia definiéndola como la habilidad intrínseca del sistema para ajustar su funcionamiento antes o mientras ocurren fallos o interrupciones, de modo que se puedan mantener las operaciones incluso después de un grave accidente.

Partiendo de esta definición Westrum (2006) define las tres componentes principales de la resiliencia:

- La capacidad para prevenir que algo malo ocurra (prever y evitar).
- La capacidad para prevenir que algo malo se convierta en algo peor (hacer frente a los problemas actuales).
- La capacidad para recuperarse de algo malo una vez que haya ocurrido (reparación después de la catástrofe).

Bruneau et al. (2003) y MCEER (2008) desglosan la resiliencia en cuatro dimensiones:

- **Resiliencia Técnica:** se refiere a la capacidad de los sistemas físicos de la organización o del sistema para trabajar adecuadamente en caso de crisis.
- **Resiliencia Organizacional:** se refiere a la capacidad de los gestores de crisis para tomar decisiones y emprender acciones que conducen a evitar que ocurra una crisis o por lo menos a reducir sus impactos.
- **Resiliencia Económica:** se refiere a la capacidad económica de una entidad para afrontar los costes extra que surgen de una crisis. La resiliencia económica permite una respuesta más rápida y, por lo tanto, una disminución de los impactos.
- **Resiliencia Social:** se refiere a la capacidad de la sociedad para reducir los impactos de una crisis.

Weick y Sutcliffe (2007) definen *High Reliability Organizations* (HRO) para denominar a las organizaciones que han sido exitosas en evitar que ocurra una crisis o en responder eficazmente. Sus principales características son:

- **La preocupación por los errores:** en las HROs cualquier síntoma es analizado con detenimiento, ya que son conscientes de que la coincidencia de varios pequeños errores puede inducir una gran catástrofe.
- **La resistencia a simplificar:** estas organizaciones asumen que el mundo es complejo, inestable e inesperado y que la simplificación puede evitar que se detecten fallos y en consecuencia que se genere una crisis. Por lo tanto, se oponen a simplificar los procesos.
- **La sensibilidad a las operaciones:** continuamente se revisan las operaciones y se llevan a cabo los ajustes necesarios para prevenir que se acumulen los errores.
- **El compromiso con la resiliencia:** las HROs desarrollan la capacidad para detectar, absorber y recuperarse de errores inevitables entrenando y formando a los trabajadores.
- **El respeto a la experiencia:** las HROs delegan autoridad en los operarios expertos en el tema para que tomen las mejores decisiones, ya que son los que más saben del problema.

La literatura ofrece mucha información acerca de la definición de la resiliencia y las características de los sistemas resilientes. Sin embargo, resulta más complicado encontrar referencias acerca de cómo mejorar o incrementar el nivel

de resiliencia. Cutter (2010) define un conjunto de indicadores que permiten medir el nivel de resiliencia del sistema y así evaluar la efectividad de las políticas establecidas para mejorar el nivel de resiliencia, pero no detalla la manera de mejorar el valor de estos indicadores.

El objetivo de este artículo es proporcionar una definición más adecuada para el concepto de la resiliencia teniendo en cuenta que la resiliencia no es sólo la capacidad para responder y recuperarse de las crisis, sino también para prevenirlas teniendo en cuenta el aspecto dinámico y la reducción de los impactos. Asimismo, se identifican doce políticas de mitigación que ayudan a mejorar el nivel de resiliencia del sistema y como consecuencia reducir el impacto de los grandes accidentes.

3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La metodología aplicada en este estudio es exploratoria y cualitativa. Mediante la revisión bibliográfica se han analizado diferentes enfoques para describir la resiliencia del sistema. La revisión bibliográfica ayuda a clarificar la contribución de la investigación y a limitar la investigación al ámbito más factible (Karlsson, 2009).

Asimismo, dentro de esta fase exploratoria se ha aplicado la metodología colaborativa llamada *Group Model Building* (GMB) que permite la cooperación entre los modelizadores y los expertos en el tema para desarrollar modelos de simulación acerca del problema (Andersen et al., 2007; Andersen et al., 1997; Rich et al., 2009). Mediante unas sesiones de trabajo estructuradas se desarrollan actividades por las que los modelizadores consiguen recopilar conocimiento que les ayuda en el desarrollo del modelo. Dichas sesiones de trabajo se han desarrollado en el contexto de un proyecto europeo llamado SEMPOC en el ámbito de la protección de infraestructuras críticas (Hernantes et al., 2012). Uno de los importantes resultados de estas sesiones fue la identificación de las políticas que ayudan a mejorar la resiliencia en el caso de las infraestructuras críticas de energía.

Finalmente mediante múltiples estudios de caso (Yin, 1994) se ratificaron las políticas identificadas dando más validez a los resultados obtenidos en las sesiones de trabajo con los expertos.

4. MARCO CONCEPTUAL DE LA RESILIENCIA

A través de la revisión bibliográfica realizada, se define resiliencia como la capacidad intrínseca del sistema para reducir la probabilidad de fallo manteniendo la estabilidad dinámica del sistema y una vez que éste ocurre la capacidad para reaccionar y recuperarse lo antes posible, reduciendo los posibles impactos y permitiendo la continuidad de los procesos.

La resiliencia del sistema se construye implementando medidas de prevención y preparación tales como la mejora

del diseño de las infraestructuras o entrenando a los operadores para que respondan de la manera más coordinada y eficiente posible. Las políticas de mitigación son aquellas acciones implementadas para incrementar el nivel de resiliencia del sistema y, en consecuencia, permiten reducir los impactos de la crisis.

4.1. LAS DIMENSIONES DE LA RESILIENCIA EN CASO DE GRANDES ACCIDENTES

En el caso de grandes accidentes, hay un elemento focal donde sucede el evento desencadenante de la crisis: un barco, una central nuclear, una planta de generación de energía, una industria química, etc. Asimismo, la crisis puede afectar a gran cantidad de personas, por lo que los agentes externos necesitan cooperar e incluso liderar la resolución de la crisis de la forma más adecuada. Por consiguiente, se divide el nivel general de resiliencia del sistema en dos tipos diferentes: la resiliencia *interna*, que se refiere al nivel de resiliencia de la propia IC y la resiliencia *externa*, que se corresponde con el nivel de resiliencia del resto de los agentes involucrados (el gobierno, protección civil, primeros auxilios, otras infraestructuras críticas y la sociedad).

En base a esta clasificación, se han identificado para cada tipo de resiliencia sus dimensiones. La resiliencia interna se ha dividido en tres dimensiones: resiliencia técnica, resiliencia organizacional y resiliencia económica. Por otra parte, la resiliencia externa se ha descompuesto en cuatro dimensiones: resiliencia técnica, resiliencia organizacional, resiliencia económica y resiliencia social (Fig. 2).

Resiliencia Interna	Resiliencia Externa
Resiliencia Técnica	Resiliencia Técnica
Resiliencia Organizacional	Resiliencia Organizacional
Resiliencia Económica	Resiliencia Económica
	Resiliencia Social

Figura 2: Tipos y dimensiones de la resiliencia para el caso de grandes accidentes (Fuente propia)

Resiliencia Interna	
Resiliencia Técnica	Diseño y Construcción de la IC Mantenimiento de la IC Equipos de Adquisición y Transmisión de Datos de la IC
Resiliencia Organizacional	Capacidad de la IC para Detectar, Comunicar y Analizar la Crisis Formación de los Trabajadores de a IC
Resiliencia Económica	Presupuesto para la Crisis de la IC

Figura 3: Políticas de mitigación dentro de la resiliencia interna (Fuente propia)

4.2. POLÍTICAS DE MITIGACIÓN

4.2.1. Políticas de mitigación aplicadas en la resiliencia interna

Dentro de la resiliencia interna, se han definido tres políticas de mitigación para la resiliencia técnica: *Diseño y Construcción de la IC*, *Mantenimiento de la IC* y *Equipos de Adquisición y Transmisión de Datos de la IC*. Para fortalecer la resiliencia organizacional se pueden implementar las siguientes dos políticas: *Capacidad de la IC para Detectar, Comunicar y Analizar las Crisis* y *Formación de los Trabajadores de la IC*. Finalmente, sólo una política denominada *Presupuesto para la Crisis de la IC* ha sido definida para mejorar la resiliencia económica de una organización (Figura 3).

Diseño y Construcción de la IC

Se define el Diseño y Construcción de la IC como el nivel de calidad, robustez, redundancia y seguridad del diseño y la construcción de la IC. La IC debe cumplir todas las especificaciones y requerimientos aplicables según las normativas. Para saber cuáles son estas especificaciones a cumplir, es esencial definir claramente su objetivo, el nivel de riesgo del área ante cualquier amenaza, los aspectos y características de su entorno, y cómo estos aspectos del entorno afectan al nivel de seguridad de la infraestructura. Al mismo tiempo, para incrementar el nivel de seguridad del sistema, las ICs incluyen sistemas de seguridad adicionales que deben ser diseñados y construidos para que actúen adecuadamente en situaciones críticas. Finalmente, hay que impedir la introducción de nuevas vulnerabilidades en el sistema cuando se realizan actualizaciones en el diseño de la IC.

Un caso real que ilustra las consecuencias catastróficas debidas a un diseño inapropiado de la infraestructura es el accidente aéreo del DC ocurrido en París en 1974. En este accidente, la puerta de carga trasera diseñada defectuosamente explotó a una altura de 12.000 pies, provocando la despresurización de la cabina (Manion and Evan, 2002).

Mantenimiento de la IC

Las ICs, además de ser diseñadas y construidas correctamente, deben estar mantenidas apropiadamente, para mejorar su nivel de fiabilidad y rendimiento. Estas actividades incluyen la reparación de los componentes dañados, la renovación del equipamiento antiguo, la actualización de las características técnicas para cumplir con la nueva legislación, etc. Realizando dichas actividades, los elementos del sistema estarán en una condición adecuada y fiable, y como consecuencia mejorará el nivel de la resiliencia técnica.

El buen mantenimiento de la infraestructura es vital como se puede ver en el ejemplo siguiente. En 1979, un DC-10 se estrelló en Chicago por un problema de mantenimiento. Un procedimiento inapropiado del mantenimiento provocó que el motor izquierdo se desprendiese, cortando los cables de control del ala y haciendo imposible a los pilotos mantener el control del avión (Manion and Evan, 2002).

Equipos de Adquisición y Transmisión de Datos de la IC

La política de mitigación denominada Equipos de Adquisición y Transmisión de Datos de la IC se refiere a la calidad, fiabilidad y efectividad de los equipos de sensores e informáticos que deben instalarse para supervisar y controlar las ICs. Es necesario establecer los sensores requeridos para recopilar información del sistema e instalar los equipamientos adecuados para controlar el sistema. Mediante estos equipos, es posible recopilar información del sistema y transferirla a la estación central para garantizar su correcto funcionamiento. De esta manera, si ocurre algún fallo, la estación central es inmediatamente alertada para afrontar la situación.

El apagón de Canadá que ocurrió en 2003 es un caso real en el que el evento desencadenante podía haberse evitado si el sistema de adquisición y transmisión de datos hubiese funcionado correctamente (US-Canada Power System Outage Task Force, 2004). Durante una ola de calor, se estaban utilizando muchos aparatos de aire acondicionado, por lo que la demanda de electricidad aumentó considerablemente generando picos en el suministro eléctrico. El sistema de comunicación no funcionó como se esperaba y por consiguiente los gestores de la red no recibieron la información de lo que estaba ocurriendo a tiempo. Como resultado, los responsables no eran conscientes del estado crítico de la red y por lo tanto no tomaron ninguna acción para prevenir y mitigar el apagón.

Capacidad de la IC para Detectar, Comunicar y Analizar las Crisis

La Capacidad de la IC para Detectar, Comunicar y Analizar las Crisis se refiere a la capacidad de sus operadores para detectar, comunicar y analizar las crisis, proponiendo acciones para disminuir su impacto y/o nuevas medidas preventivas para el futuro. Las actividades que hay que desarrollar para implementar esta política son cursos de entrenamiento para que los operadores sean capaces de detectar señales anómalas, comunicarlas a los gestores de crisis y después analizarlas para establecer nuevas medidas preventivas. Para ello, los operadores deben saber detectar e interpretar los datos adquiridos, identificando el problema. A continuación, el incidente debe ser comunicado a los gestores de crisis, los cuales analizan el origen y las consecuencias para identificar medidas que se deben tomar para solucionar el problema y prevenir futuros errores.

En el caso del apagón de Italia en 2003, los operadores no eran conscientes de la urgencia de la situación con respecto a la sobrecarga que se estaba produciendo en la línea de San Bernardo. Además, no eran conscientes de que la línea era capaz de soportar dicha sobrecarga durante sólo quince minutos. Diez minutos después del corte ENTRANS (operadora de la red de Suiza) llamó a GRTN (operadora de la red de Italia) para que disminuyera la carga a 300MW. Esta medida se completó diez minutos después de que se les avisara y, por lo tanto, no fue suficiente para aliviar la sobrecarga y la línea de San Bernardino colapsó (UCTE, 2004).

Formación de los Trabajadores de la IC

Los trabajadores de la IC deben estar adecuadamente entrenados antes de que ocurra una crisis para que sepan cómo responder cuando ésta ocurra. Los trabajadores deben formarse para que conozcan los procedimientos y protocolos de actuación que se deben seguir cuando algo inesperado ocurre y para adquirir las habilidades que se necesitan para mejorar su respuesta. Asimismo, también es muy importante trabajar su capacidad para fomentar la capacidad de entender un evento inesperado, adaptarse a él y tomar las decisiones correctas en una situación de estrés y con información limitada. Responder a tiempo y trabajar de manera coordinada puede reducir considerablemente el tiempo que se necesita para responder a una crisis y en consecuencia reducir los impactos negativos que se generan.

El accidente nuclear de Chernobyl es un ejemplo en el cual se pueden ilustrar las consecuencias negativas que causaron los errores humanos. El error humano fue una de las causas principales del accidente de Chernobyl (Manion and Evan, 2002; Dörner, 1997). Los técnicos querían realizar una prueba en la turbina del reactor principal para verificar que en caso de un corte de corriente las turbinas fueran capaces de generar suficiente energía para las bombas, mientras que los generadores de reserva se pusiesen en marcha. Tras empezar con el test, se dieron cuenta de que el reactor estaba trabajando en condiciones muy inestables, pero ignoraron dicha situación crítica, desobedecieron 5 de las 7 normas más importantes para la seguridad de la central y siguieron con el experimento hasta que el reactor explotó.

Presupuesto para la Crisis de la IC

Las ICs deben tener recursos asignados para reparar los daños y restaurar los elementos dañados cuando ocurre una crisis. Un nivel alto de resiliencia económica hace posible comprar nuevos componentes, reparar los daños más rápidamente y contratar temporalmente trabajadores y equipamiento, reduciendo así los tiempos de respuesta y recuperación. Cuando esta reserva de dinero disminuye, la respuesta a la situación crítica también se alarga.

El reciente derrame de petróleo de BP es un buen ejemplo para ilustrar cómo la IC debe disponer de recursos adicionales para ser capaz de afrontar los costes extra que se generan a causa de un accidente. En el momento del accidente, BP estableció un fondo de 20 billones de dólares para cumplir con todas las reclamaciones. De esta forma, se cubrieron todos los gastos de los daños y reparaciones que hasta Mayo de 2011 se estimaron en unos 6 billones de dólares (British Petroleum, 2011).

4.2.2. Políticas de mitigación aplicadas en la resiliencia externa

Dentro de la resiliencia externa se han definido cuatro dimensiones. Una política que puede ayudar a mejorar la resiliencia técnica es disponer de equipamiento externo técnico para responder a la crisis. Además, el entrenamiento apropiado para la prestación de primeros auxilios y la prepara-

ción de las administraciones permiten a los gestores de crisis mejorar la resiliencia organizacional del sistema. Asimismo, tener un presupuesto público adecuado para los costes extras que se generan a causa de una crisis permite cubrir los gastos de recuperación y respuesta. Finalmente, entrenar a la sociedad para la gestión de crisis y disponer de una regulación bien definida y actualizada fortalece el nivel de la resiliencia social (Figura 4).

Resiliencia Externa	
Resiliencia Técnica	Equipamiento Externo para Responder a la Crisis
Resiliencia Organizacional	Entrenamiento del Personal de Primeros Auxilios
	Preparación de las Administraciones
Resiliencia Económica	Presupuesto Público para la Crisis
Resiliencia Social	Preparación de la Sociedad
	Cuestiones Jurídicas y Reglamentarias

Figura 4: Políticas de mitigación dentro de la resiliencia externa (Fuente propia)

Equipamiento Externo para Responder a la Crisis

El nivel de disponibilidad, calidad, redundancia, fiabilidad y seguridad del equipamiento técnico de los organismos públicos y de los prestadores de primeros auxilios es esencial para afrontar una crisis, reparar daños, responder a situaciones de emergencia, introducir dispositivos alternativos de emergencia para reemplazar a los dañados, etc.

Adquirir el equipamiento necesario, mantenerlo adecuadamente y actualizarlo correctamente son algunos ejemplos de las actividades que se deben llevar a cabo en esta política. Tener equipamiento de alta calidad permite al personal de primeros auxilios y a las administraciones responder rápidamente, reduciendo los impactos de la crisis.

El siguiente ejemplo expone la importancia de la disponibilidad de este equipamiento para no empeorar la situación crítica y para incrementar el nivel de la resiliencia técnica de la sociedad.

Durante la fuga de gas en *Bhopal*, el personal de primeros auxilios tuvo un problema muy serio ya que no disponía de mecanismos eficaces de emergencia médica o transportes adecuados para las evacuaciones de emergencia (Bisarya and Puri, 2005).

Entrenamiento del Personal de Primeros Auxilios

El Entrenamiento del Personal de Primeros Auxilios se refiere al nivel de preparación del personal de primeros auxilios (bomberos, policías, las unidades de emergencia, etc.) para afrontar la crisis. Antes de que ocurra la crisis, este personal debe ser formado y entrenado para que sepa cómo responder y solucionar la crisis. Acciones tales como el modo

de actuación en lugares peligrosos y cómo se deben organizar y coordinar entre los diferentes agentes involucrados necesitan ser definidas de antemano. Después de la crisis, se debe identificar todo lo que haya salido mal y establecer medidas correctivas para que no vuelva a ocurrir.

El derrame de petróleo de *Exxon Valdez* es un accidente en el cuál la falta de entrenamiento del personal de primeros auxilios incrementó el impacto total.

En el caso del derrame de petróleo de *Exxon Valdez*, el personal de primeros auxilios carecía de entrenamiento para gestionar derrames de tal dimensión y como consecuencia, el tiempo de respuesta fue mayor de lo esperado, aumentando a su vez el impacto global del accidente (Skinner and Relly, 1989).

Preparación de las Administraciones

En un gran accidente, las principales funciones de las administraciones son comunicar correctamente la situación a la sociedad, dando consejo sobre cómo debe comportarse, y liderar y coordinar todas las entidades que participan en la resolución de la crisis. La correcta comunicación entre las administraciones y la sociedad disminuye la ansiedad de la población, y como resultado, el impacto del incidente. Para liderar una crisis es esencial incrementar la capacidad para interpretar la situación, ya que las crisis son inciertas y complejas. Por lo tanto, los gestores de crisis necesitan tener la capacidad para entender lo que está ocurriendo en una situación crítica y adaptarse a ella rápidamente (Boin and McConnell, 2007). La coordinación entre diferentes entidades es también esencial para reducir el tiempo de respuesta y recuperación, y el posible impacto.

En el caso del derrame de petróleo de *Prestige*, a pesar de que muchos expertos advirtieran al gobierno de que la mejor solución era acercar el barco a la costa debido al mal tiempo, el estado del mar y a la situación crítica del barco, las autoridades españolas ordenaron que alejasen el barco de la costa y como consecuencia de la fuerza del mar el barco se hundió, derramando todo el petróleo e incrementando los daños medioambientales (Méndez-Martínez, 2003).

Presupuesto Público para la Crisis

Como en el caso de Presupuesto para Crisis de la IC, las instituciones públicas deben tener unas reservas asignadas en caso de que ocurra una crisis. Este fondo extra permite a las organizaciones, a la sociedad y a primeros auxilios conseguir recursos de una manera razonable. Si esta reserva se reduce a consecuencia de su uso, el gobierno debería restituirla de nuevo, aunque haría falta algún tiempo para volver a la situación inicial.

Dos accidentes mineros similares explican la diferencia que puede haber entre una alta aplicación de esta política a la hora de conseguir resultados satisfactorios. El nivel de compromiso de las administraciones puede generar consecuencias totalmente diferentes para accidentes muy similares. En el caso del accidente de la Minería San José que ocurrió en Chile en 2010, la gran cantidad de recursos invertido por el

gobierno chileno permitió construir un sistema de rescate con el cual se salvaron las vidas de todos los mineros. Por otro lado, la actitud del gobierno mejicano fue muy diferente en el accidente de la minería de Pasta de Conchos. En este caso, el gobierno no organizó ningún rescate y por lo tanto los 65 mineros murieron (Taniguchi, 2010).

Preparación de la Sociedad

No sólo las administraciones y el personal de primeros auxilios deben estar preparados para responder a una crisis sino que la sociedad también puede desempeñar un papel importante en su resolución. En el caso de una crisis, las personas mayores requieren asistencia y los hospitales se colapsan de gente, por lo que se necesitan más recursos y personal para hacer frente a esa situación. Además, muchas veces se necesitan voluntarios para reparar los daños.

Entrenar a la sociedad permitiría a los ciudadanos ayudarse entre ellos durante la crisis reduciendo posibles efectos adversos. La concienciación de la sociedad es un factor muy importante para prepararse ante una crisis.

En el caso del derrame de petróleo de Prestige, la buena práctica de esta política fortaleció la respuesta. No sólo los voluntarios ayudaron a limpiar la costa de Galicia, sino también provocaron que las instituciones y el gobierno se involucraran más en la resolución del problema (García-Mira et al., 2006).

Cuestiones Jurídicas y Reglamentarias

Las cuestiones jurídicas y reglamentarias se refieren al nivel de madurez de las regulaciones para establecer medidas preventivas y definir los protocolos de actuación, además de definir las responsabilidades de cada entidad a la hora de afrontar la crisis.

Las regulaciones que las compañías privadas deben cumplir, las regulaciones para el personal de primeros auxilios y las regulaciones para la sociedad ayudarían a que todos estén mejor preparados y se puedan reducir los posibles impactos. Disponer de regulaciones bien definidas y actualizadas permite a cada agente saber cuáles son sus responsabilidades para responder de la manera más coordinada y efectiva posible.

El apagón de Italia (CRE and AEEG, 2004) nos muestra cómo el tiempo de resolución aumentó debido a regulaciones diferentes en Suiza e Italia. Así, un marco jurídico unificado en toda Europa sería necesario para asegurar la seguridad del funcionamiento de la red.

5. CONCLUSIONES

Tener un nivel alto de resiliencia en las infraestructuras críticas reduce la probabilidad de que ocurran grandes accidentes, y si ocurren, el impacto no será tan significativo. Como consecuencia, mejorar la resiliencia de las infraestructuras se ha convertido en la estrategia indispensable para la gestión de crisis.



Durante la revisión bibliográfica se ha observado que existen varias definiciones acerca del concepto de resiliencia, pero poca información sobre cómo conseguir que la resiliencia de un sistema aumente.

Esta investigación, todavía en desarrollo, propone una definición de resiliencia desde una perspectiva tanto proactiva como reactiva a la que se añade la dimensión dinámica y se tiene en cuenta su influencia en evitar las crisis y en la reducción de los impactos. Dentro del nivel general de resiliencia se han definido dos tipos de resiliencia (resiliencia interna y resiliencia externa) que hacen que quede todavía más explícita la necesidad de colaboración entre las infraestructuras críticas y la cooperación entre instituciones privadas y públicas.

Además este trabajo presenta doce políticas que contribuyen a mejorar la resiliencia del sistema. Estas políticas han sido identificadas mediante sesiones de trabajo con expertos y después han sido ratificadas con múltiples estudios de caso. Esta lista de políticas contribuye a definir las acciones que se deben implementar para reducir la probabilidad de fallo y las consecuencias de las crisis.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Andersen DF, Richardson GP, Vennix JAM. "Group model building: Adding more science to the craft". *System Dynamics Review*. 1997. Vol.13 -2 p.187-201.
- Andersen DF, Vennix JAM, Richardson GP et al. "Group Model Building: Problem structuring, policy simulation and decision support". *Journal of the Operational Research Society*. 2007. Vol.58 p.691-695.
- Bisarya RK, Puri S. "The Bhopal gas tragedy - A perspective". *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2005. Vol.18 p.209-212.
- Boin A, McConnell A. "Preparing for Critical Infrastructure Breakdowns: The Limits of Crisis Management and the Need for Resilience". *Journal of Contingencies and Crisis Management*. 2007. Vol.15 -1 p.50-59.

- British Petroleum. *Public Claims Status [en línea]*. 2011. Disponible en Web: <http://responsedata.bp.com/files/PublicClaimsStatusTracking05052011v2.pdf>
- Bruneau M, Chang S, Eguchi R et al. "A framework to quantitatively assess and enhance seismic resilience of communities". *Earthquake Spectra*. 2003. Vol.19 p.733-52.
- CRE and AEEG. *Report on the Events of September 28th, 2003 culminating in the separation of the Italian Power System from the other UCTE Networks*. 2004.
- Cutter SL, Burton CG, Emrich CT. "Disaster Resilience Indicators for Benchmarking Baseline Conditions". *Journal of Homeland Security and Emergency Management*. 2010. Vol.7 -51 .
- Dörner D. *The Logic of Failure*. 1st edición. Massachusetts: Addison-Wesley, 1997.
- García-Mira R, Real JE, Uzzell DL et al. "Coping with a threat to quality of life: the case of the Prestige disaster". *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/ European Review of Applied Psychology*. 2006. Vol.56 -1 p.53-60.
- Hernantes J, Labaka L, Lauge A et al. "Group Model Building: A collaborative modelling methodology applied to Critical Infrastructure Protection". *International Journal of Organizational Design and Engineering*. 2012 (In press).
- Hollnagel E, Woods DD, Leveson N. *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*.: Ashgate, 2006.
- Kahan JH, Allen AC, George JK. "An Operational Framework for Resilience". *Journal of Homeland Security and Emergency Management*. 2009. Vol.6 -1 .
- Karlsson C. *Researching Operations Management*. New York: Routledge: Taylor & Francis, Inc., 2009.
- Longstaff PH. *Security, Resilience, and Communication in Unpredictable Environments Such as Terrorism, Natural Disasters, and Complex Technology*. Cambridge MA: Harvard University, 2005.
- Manion M, Evan WM. "Technological catastrophes: their causes and prevention". *Technology in Society*. 2002. Vol.24 p.207-224.
- MCEER. *Engineering Resilience Solutions*. USA: University of Buffalo, 2008.
- McEntire DA. "Why vulnerability matters: Exploring the merit of an inclusive disaster reduction concept". *Disaster Prevention and Management*. 2005. Vol.14 -2 p.206-222.
- Méndez-Martínez C. *Libro Blanco sobre el Prestige*. Gobierno del Principado de Asturias, Oviedo 2003.
- Mileti D. *Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States*. Washington, DC: Joseph Henry Press, 1999.
- Rich E, Sveen FO, Qian Y et al. "Emergent Vulnerability in Integrated Operations: A Proactive Simulation Study of Risk and Organizational Learning". *International*

- Journal of Critical Infrastructure Protection*. 2009. Vol.2 p.110.
- Rinaldi SM. "Modeling and simulating critical infrastructures and their interdependencies". En: *Proceedings of 37th Hawaii international conference on system sciences, (Washington DC, USA January 5-8, 2004)*, 2004.
- Skinner SK, Relly WK. *The Exxon Valdez Oil Spill*. 1989.
- Taniguchi H. "El rescate de mineros en Chile revive las heridas del accidente en México". *CNN México*. 2010. Disponible en Web: <<http://mexico.cnn.com/nacional/2010/10/14/el-rescate-de-mineros-en-chile-revive-las-heridas-del-accidente-en-mexico>>.
- Union for the Coordination of Transmission of Electricity (UCTE). *Final Report of the Investigation Committee on the 28 September 2003 Blackout in Italy*. Italy 2004.
- US-Canada Power System Outage Task Force. *Final Report on the August 14, 2003 Blackout in the United States and Canada: Causes and Recommendations*. US Department of Energy & Canada Ministry of Natural Resources 2004.
- Vogus TJ, Sutcliffe KM. "Organizational resilience: Towards a theory and research agenda". En: *Systems, Man and Cybernetics, 2007. ISIC. IEEE International Conference on*, 2007 3418-3422p.
- Weick KE, Sutcliffe KM. *Managing the Unexpected: resilient performance in an age of uncertainty*. 2nd edición. San Francisco: Calif.: Jossey-Bass, 2007.
- Westrum R. "A Typology of Resilience Situations". En: E. Hollnagel, D. D. Woods and N. Leveson. (ed). *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*.: Ashgate , 2006. p.55-65.
- Yin RK. *Case Study Research: Design and Methods*. 2nd ed. edición.: Sage publications, 1994. ISBN: 0-8039-5662-2.