



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA**

**ANTIFRAGILIDAD. PROPUESTA DE APLICACIÓN CONVERGENTE  
Y VINCULANTE, EN PROCESOS ARQUITECTÓNICOS  
PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS SÍSMICOS**

**TESIS**  
**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE**  
**MAESTRO EN ARQUITECTURA**  
**EN EL CAMPO DE CONOCIMIENTO DE TECNOLOGÍAS**

**PRESENTA**  
**Arq. Ignacio González Tejeda**

**TUTOR PRINCIPAL**  
**Dr. Francisco Platas López**  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. POSGRADO ARQUITECTURA**

**MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR**  
**Dr. Luciano Roberto Fernández Sola**  
**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA. AZCAPOTZALCO**  
**Mtra. Elena Tudela Rivadeneyra**  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. FACULTAD DE ARQUITECTURA**

**CIUDAD DE MÉXICO, OCTUBRE, 2021**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



---

**Jurado del Examen de Grado**

Dr. Francisco Platas López

Dr. Luciano Roberto Fernández Sola

Mtra. Elena Tudela Rivadeneyra

Dr. José Antonio García Ayala

Mtro. en Arq. Francisco Reyna Gómez

---

---

Declaro conocer el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México  
considerado en la Legislación Universitaria.

Con base en las definiciones de integridad y honestidad ahí contenidas, manifiesto que  
el presente trabajo es original y enteramente de mi autoría.

Las citas de obras y referencias generales a otros autores se consignan con el crédito  
correspondiente.

---



Esta investigación ha sido posible gracias a la existencia, el amor y la comprensión de mis amados hijos MARAZUL, ZULEMA Y EMILIANO, motores de mi vida.



## ÍNDICE:

---

Introducción.....	9
Objetivos .....	11
1 La antifragilidad en la gestión de riesgos sísmicos.....	13
1.1 Antifragilidad. Estado del Arte.....	15
1.2 La resiliencia en la gestión de riesgos .....	25
1.2.1 Objetivos del Diseño Sismorresistente .....	26
1.2.2 Metodología REDi.....	28
1.2.3 Metodología de USRC ( <i>US Resiliency Council</i> ).....	29
1.2.4 Metodología FEMA P-58 .....	31
1.3 Hojas de ruta con enfoques resilientes.....	33
1.3.1 Hojas de Ruta por módulos <i>SimCenter</i> .....	33
1.3.2 Hoja de Ruta para Escuelas más Seguras y Resilientes .....	34
1.3.3 Elementos para la evaluación de la resiliencia.....	35
1.4 Ciclo del riesgo .....	37
1.5 Gestión de riesgos .....	39
1.5.1 Riesgo.....	40
1.5.2 Amenaza.....	41
1.5.3 Vulnerabilidad .....	42
2 Antifragilidad y Figuras Técnicas en torno a Eventos Sísmicos .....	45
2.1 Breve línea del Tiempo .....	47
2.1.1 Período prehispánico.....	47
2.1.2 Período virreinal.....	51
2.1.3 Siglo XIX.....	53
2.1.4 Del siglo XX a la actualidad .....	53
2.2 Antecedentes de figuras técnicas .....	61
2.2.1 Evolución normativa en cuanto a figuras técnicas.....	63
2.3 Tendencia histórica de robustecimiento .....	71
2.3.1 Injerencia de eventos sísmicos y robustecimiento .....	72
2.3.2 Injerencia de eventos sísmicos y concepto de robustez en las obligaciones .....	75
2.3.3 Robustez desarrollada a través del análisis de la norma .....	80
2.4 Otros apuntes normativos.....	85
3 Antifragilidad y Arquitectura .....	89
3.1 El profesional de la arquitectura en el siglo XXI .....	91



3.1.1	Riesgo psicosocial en el profesional de la arquitectura .....	92
3.1.2	Neoliberalismo y psicogeografía.....	94
3.1.3	Antifragilidad y proceso arquitectónico .....	98
3.2	Arquitectura y diseño sismorresistente. Área de oportunidad de la antifragilidad .....	105
3.2.1	Composición estructural o estructuración.....	106
3.2.2	Análisis mecánico .....	106
3.2.3	Diseño o revisión .....	106
3.3	Robustez.....	109
3.3.1	Análisis estructural.....	109
3.3.2	Resistencia .....	110
3.3.3	Rigidez.....	111
3.3.4	Robustez y antifragilidad en un contexto epistemológico .....	114
4	Aplicación de conceptos de antifragilidad en la gestión de riesgos sísmicos .....	115
4.1	Tecnológico Nacional de México .....	117
4.2	Alcaldía de Milpa Alta .....	119
4.3	Instituto Tecnológico de Milpa Alta II .....	121
4.4	Propuesta de Hoja de Ruta en Programa Interno.....	123
4.4.1	Programa de la Coordinación Nacional de Protección Civil CNPC .....	123
4.4.2	Programa de la Alcaldía de Milpa Alta.....	125
4.4.3	Propuesta de hoja de ruta con criterios de antifragilidad.....	128
4.4.4	Escalas para ponderar la antifragilidad como aportación metodológica .....	129
4.5	Estudio de caso .....	133
4.5.1	Revisión de elemento estructural .....	133
4.5.2	Primera aplicación de herramientas de antifragilidad .....	140
4.5.3	Antifragilidad en el Tejido Social.....	141
4.5.4	Segunda aplicación de herramientas de antifragilidad .....	144
4.5.5	Propuesta gráfica (cultura de prevención).....	144
4.5.6	Tercera aplicación de herramientas de antifragilidad .....	146
5	Conclusiones, aportaciones y recomendaciones.....	147
6	Referencias .....	153

## INTRODUCCIÓN

---

*“The world breaks everyone and afterward many are strong at the broken places”.*

“El mundo quiebra a todos y, después, muchos se fortalecen en los lugares rotos”.

*Ernest Hemingway* (Hemingway, 1929, pág. 260)

Se ha utilizado el epígrafe del libro *Adiós a las armas* de *Ernest Hemingway* (Hemingway, 1929), el escritor, principalmente por dos motivos: uno, por la enorme cercanía con el tema de tesis, acerca de la fortaleza que se puede adquirir después de una ruptura, estresor o adversidad y, otro, por su incursión en el ámbito literario de la narrativa, un género no tan científico en apariencia.

Si la arquitectura se mueve en el contexto de la ciencia y del arte o la lírica, hoy es el tiempo para que todas las profesiones comprendan la necesidad de ser abordadas con enfoques integrales en los que intervengan la mayor cantidad de disciplinas posibles.

El objetivo del campo de tecnologías del Programa de Maestría y Doctorado de la Facultad de Arquitectura es “formar profesionales, docentes e investigadores competitivos y capaces de desarrollar y aplicar investigación que genere conocimientos técnicos e innovadores relacionados con la arquitectura, los cuales se utilizan de modo óptimo en la planeación, la toma de decisiones y ejecución de proyectos tecnológicos

arquitectónicos diseñados con principios éticos que respondan a las demandas y requerimientos sociales del país”. (UNAM Posgrado Arquitectura, 2020)

Para alcanzar dicho objetivo académico, es necesario recurrir a nuevas propuestas técnicas, que han funcionado a nivel global, tanto en la gestión de riesgos, como en la resiliencia. Cuando se gestó la mayor parte del contenido de la investigación, una pandemia recorría el orbe con resultados catastróficos. Este estresor sanitario-ecológico dejó al descubierto una baja apreciación de las escalas de valores de toda índole.

La antifragilidad es una propiedad que mejora la capacidad funcional del sistema para responder a las perturbaciones externas. (Equihua, y otros, 2020). En otras palabras, un sistema es antifrágil si se beneficia de la variabilidad ambiental y funciona mejor después de ser perturbado. El creador de la categoría, Nassim Nicholas Taleb (2012) considera que hay cosas que se benefician de las crisis y/o de los estresores (Taleb, 2019: 25).

En virtud de que, los criterios de lo antifrágil, develan la necesidad de interacción (e iteración) y éstos, a su vez, pueden proponer modificaciones sustanciales en el ámbito de lo proyectual, así como en el ejercicio cotidiano de la arquitectura; esta tesis sostiene el argumento de que, a través de la incursión en los propios conceptos de la antifragilidad, es posible establecer cambios con respecto al riesgo sísmico.

Por ello ha sido posible incursionar en las figuras de responsabilidad en la historia de los reglamentos de construcciones, así como en los alcances técnicos de las mismas y de los procedimientos sociales en la toma de decisiones.

Las disciplinas arquitectónicas, entonces, junto con la antifragilidad y, en convergencia con las interacciones que conllevan, pueden incidir en los cambios de políticas públicas.

## OBJETIVOS

---

Proponer la aplicación de conceptos de antifragilidad en la gestión de riesgos sísmicos y su incursión conceptual en la teoría y práctica de la arquitectura contemporánea, para generar brazos o extensiones hacia áreas de oportunidad que puedan convergir en los procesos.

La investigación se centra en el proceso proyectual de lo arquitectónico y el objeto de estudio, en el Instituto Tecnológico de Milpa Alta II y su entorno.

Se eligió este inmueble por su ubicación: en un contexto social de marginación, enclavado en un entorno semi rural, a pesar de su cercanía e incluso de pertenecer a la enorme mancha urbana de la Ciudad de México. Además, por la relativa facilidad para conseguir información, debido a contar con datos y documentos, por haber participado el autor en el rubro de estudios y proyectos de la edificación.

Para poder alcanzar esta propuesta es necesario

- Determinar las características analíticas de la antifragilidad, que fungirán como eje rector de la investigación, para su aplicación en la gestión de riesgos sísmicos.
- Interactuar eventos sísmicos con la evolución de las características de las figuras técnicas partícipes, para determinar propiedades antifrágiles en dicha relación.
- Establecer la incursión conceptual de lo antifrágil en el ejercicio de la arquitectura, para que, con un enfoque convergente, pueda contribuirse al desarrollo óptimo desde el origen del proceso proyectual hasta la ocupación del objeto construido.
- Con base en metodologías probadas de resiliencia, aplicar conceptos de antifragilidad en torno al Tecnológico de Milpa Alta II en el Programa interno de

protección civil, con un enfoque que permita replantear y fortalecer la capacidad de respuesta, tanto comunitaria como física del inmueble.

# 1 LA ANTIFRAGILIDAD EN LA GESTIÓN DE RIESGOS SÍSMICOS

---

En el presente capítulo se abordan las características analíticas empleadas en la investigación, el estado del arte y la inserción en el debate de la gestión integral de riesgos sísmicos, de tal manera que se contribuya, no solamente a la comprensión de la antifragilidad, sino a su virtual aplicación en el proceso arquitectónico y con acotaciones precisas. Del entendimiento y su análisis contextual podrá fundamentarse su inclusión en la metodología para, así, poder manipular la información recabada, en la discusión, aplicaciones y conclusiones.

Se procederá a definir el término de antifragilidad, a partir de sus orígenes ecológicos y resilientes, al considerar a los ecosistemas como entes dinámicos, que evolucionan y co-evolucionan con la actividad humana y que, aunque no proporcionan necesariamente la posibilidad de realizar una evaluación de la capacidad del ecosistema para hacer frente a las perturbaciones, se tiene a la resiliencia como un importante nexo de unión entre la teoría y la práctica, en principio, en ecología, así como una oportunidad para la investigación. (Hernández, Urcelai, & Pastor, 2002)

El concepto de resiliencia ecológica fue introducido por primera vez por C. S. Holling (Holling C. , 1973) para representar la persistencia de estructuras naturales ante la presencia de estresores ambientales debido a desencadenantes naturales o antropogénicos. (Equihua, y otros, 2020)

Una vez que en el mundo se da una reinterpretación de las perturbaciones y sus posibles respuestas, ya no solamente en lo ecológico, sino en lo biológico y en lo sostenible, la antifragilidad surge como una alternativa que abre el debate a la resiliencia ingenieril, precisada por Nassim Taleb (Taleb, 2019).

Se realiza un breve recorrido por el ciclo del riesgo y la descripción de sus principales componentes, correlacionando la incidencia de los mismos en el entorno de la robustez y la resistencia en el campo de la mecánica estructural, conceptos que, por lo general no se combinan de manera interdisciplinaria (pues no se reconocen como tales) justamente por el manejo de terminologías de cierta forma distintas; sin embargo, en el objetivo que persigue esta tesis se ha considerado conveniente conectarlas.

Se pretende demostrar que se puede incursionar en la gestión de riesgos sísmicos, no nada más desde una perspectiva ingenieril, en relación con la estructura de un inmueble, sino también en el ámbito de la gobernanza e incluso en el sociocultural, generando en la comunidad un sistema antifrágil. Asimismo, se puede involucrar en el proceso mismo de la concepción arquitectónica, tanto en la confección de obra nueva, como en la evaluación y el posible replanteo de inmuebles afectados.

En este punto, la discusión podrá conducir a la comprensión y el entendimiento de la real participación del profesional generador de arquitectura, en el ámbito del enfrentamiento, tanto a diversas perturbaciones, como a su retroalimentación o respuesta antifrágil a las mismas.

## 1.1 ANTIFRAGILIDAD. ESTADO DEL ARTE

C. S. Holling introdujo el concepto de resiliencia en un contexto ecológico al definirla como “la capacidad de un sistema para absorber perturbaciones y reorganizarse mientras experimenta un cambio para conservar esencialmente la misma función, estructura, identidad y retroalimentación” (Holling, Walter, Carpenter, & Kinzing, 2004). También enuncia que, no solamente resiste choques, traumas o tendencias, sino que, de ese estresor, se sale fortalecido (Gunderson, Lance H, Craig R. Allen & C.S. Holling. 2014).

C. S. Holling no menciona el concepto de antifragilidad, pero enuncia su propiedad, que puede aplicarse, y de hecho lo hace, a la gestión ecológica de territorio, mas no a otros campos. Reinterpretaciones a su propuesta sostienen que un ecosistema puede ser antifrágil si se beneficia de la variabilidad ambiental. La antifragilidad va más allá de un retorno simple, dado que los sistemas resilientes son básicamente resistentes a las perturbaciones (Equihua, y otros, 2020).

Omar Pineda, Hyobin Kim y Carlos Gershenson han medido la antifragilidad, con base en el cambio de "satisfacción", antes y después de agregar perturbaciones, y la han aplicado a redes booleanas aleatorias (RBA).

Las RBA, que son una variante de las redes dinámicas discretas, fueron propuestas como modelos de redes reguladoras de genes en 1969 por *Stuart Kauffman*. (Pineda, Hyobin , & Carlos , 2019); corresponden a un modelo matemático basado en el sistema binario e interactúan en el estado tiempo para obtener mediciones. Además, se asegura que sus resultados cuantificables pueden utilizarse en sistemas de ingeniería antifrágiles (Pineda, Hyobin , & Carlos , 2019).



Entonces, a partir de la resiliencia ingenieril, se considera propicio utilizar, en principio, la definición que establece Nassim Taleb, así como la de los principales investigadores que se han referido a la antifragilidad, para, de ahí, generar la estructura de la discusión.

En su libro Antifrágil, las cosas que se benefician del desorden, Taleb establece que la antifragilidad es una propiedad que mejora la capacidad funcional de un sistema para responder a perturbaciones externas. Su aportación al debate se centra en sostener que hay cosas que mejoran con las crisis y los estresores; prosperan y crecen al verse expuestas a la volatilidad, al azar y al desorden (Taleb, 2019, pág. 25). En otras palabras, un sistema es antifrágil cuando se ve favorecido por la variabilidad ambiental, dado que funciona mejor después de ser perturbado.

Ahora bien, la profundización de Taleb no incide en el ámbito de la ciencia pura. De ahí que se utilice, no precisamente con reservas, sino con la gran oportunidad que genera la moderna interdisciplina y su interacción, que dan como resultado la generación integral, pero, sobre todo, convergente, de conocimiento.

Hasta ahora, los algoritmos (y otro tipo de cualidades) practicados por los organismos, tanto nacionales como internacionales, después de que ocurre una amenaza, evento o fenómeno de perturbación sísmico, involucran a la resiliencia como una de las principales valoraciones de recuperación tanto del ente arquitectónico como del social.

Nassim Taleb dice que “la antifragilidad es más que resiliencia o robustez. Lo resiliente aguanta los choques y sigue igual; lo antifrágil, mejora” (Taleb, 2019, pág. 25).

Uno de los aportes que pretenden realizarse con esta investigación, consiste en utilizar los resultados encontrados en la literatura mundial con respecto a la antifragilidad en la

gestión de riesgos, en lo general, y aplicarlos a circunstancias sísmicas en las que se desenvuelve el profesional de la arquitectura y su realidad psicogeográfica.

Se ha considerado conveniente, no ingresar en el terreno de los sistemas complejos, sobre todo al considerar la ausencia de predecibilidad y precisión en los diversos escenarios de índole sísmica. Se habla, sin embargo, de interdisciplina y convergencia.

En el ámbito del diseño, apunta Platas, se requiere de “acercamientos metodológicos propios, distintos a las de otros dominios de exploración creativa; por ello, es necesaria la creación de nuevos de enfoques convergentes para abordar problemas emergentes” (Platas, 2021).

La antifragilidad permite estimar la robustez y la capacidad de evolución de las redes biológicas. La capacidad de antifrágil se puede obtener fácilmente mediante la medición calculada a partir de transiciones de estado parciales. Con las diferencias cuantitativas antes y después de las perturbaciones internas, es posible clasificar las propiedades de robustez y capacidad de evolución. Como ya se ha expuesto, en algunos casos se recomienda el uso de redes booleanas, puesto que se han utilizado ampliamente en muchas áreas, incluida la vida artificial, la robótica y la biología de sistemas, entre otras (Kim, Muñoz, Osuna, & Gershenson , 2020).

Algunos autores, como Loreau, se basan en lo expuesto por C. S. Holling, y relacionan la resiliencia con la robustez, al vincularla con la durabilidad de la estabilidad del medio ambiente y definirla como una medida de la cantidad de perturbación, que puede soportar un ecosistema, antes de que cambie a un estado diferente. (Loreau et al., 2002). Por otro

lado, Equihua y coautores, aplican el concepto a la red alimentaria y determinan que, cuanto más robusta es dicha red, más estable es (Equihua, y otros, 2020).

Se continúa con la colaboración conceptual de estos investigadores, a partir de la narrativa que otorgan las perturbaciones, al permitir la generación de diversas propiedades en los ecosistemas que les brindan más retornos.

Con la continuidad del planteamiento anterior, podría también formalizarse una de las principales contribuciones de la misma autoría conjunta, al definir a la antifragilidad de los ecosistemas como una nueva forma de repensar la resiliencia, que puede ser matemáticamente formal y con facilidad para evaluarla heurísticamente en aplicaciones del mundo, en el entendido de que un sistema resiliente/robusto es resistente a las perturbaciones (Equihua Zamora, y otros, 2019).

La robustez, como se tratará en 3.3., se mantiene conceptualmente por encima de la capacidad o medida de la resistencia estructural, por lo que podría reinterpretarse como un reforzamiento, aplicado, tanto en un contexto estructural-mecánico como en otro epistemológico o de las ciencias sociales, que puede surgir posterior a los estresores que representan las perturbaciones sísmicas y sus escenarios de retorno.

El reforzamiento práctico y conceptual, incluso, a lo largo del proceso arquitectónico, en cuanto a la evaluación y evolución de todas las retroalimentaciones posibles, permite robustecer los nuevos resultados y, si dichos retornos, son producidos por cualquier forma de adversidad o evento disruptor, se está hablando de antifragilidad.

Por lo que respecta a todos los factores que intervienen en el ciclo de la gestión integral de riesgos (ver imagen 1.4.1.) pueden realizarse diversas lecturas que conduzcan a

resoluciones atractivas e innovadoras. Esto es factible gracias a la posibilidad que otorga la visión convergente que ha perseguido la investigación.

Una de las principales aportaciones en el campo, se debe a la pluma de Terje Aven, quien es especialista precisamente en análisis y gestión de riesgos en la Universidad Noruega de *Stavange*. Él argumenta que “el concepto antifrágil de Taleb agrega una contribución importante a la práctica actual del análisis de riesgos, al enfocarse en aspectos dinámicos de riesgo y rendimiento, y la necesidad de alguna variación, incertidumbre y riesgo para lograr mejoras y un alto rendimiento en etapas posteriores” (Aven, 2015).

Algunos algoritmos proponen una medición del riesgo con base en componentes también precisos, como la amenaza y la vulnerabilidad (ver 1.5.1.); sin embargo, Aven sostiene que, lo que sí se puede medir, es la fragilidad y, como es muy difícil predecir la ocurrencia de un evento dañino, propone mantener en todo momento, por sobre todas las cosas, los enfoques de predicción, pronóstico y gestión de riesgos (Aven, 2015, págs. 4-5).

La antifragilidad tiene el potencial de proporcionar información novedosa sobre los sistemas y las características integrales en los términos de su capacidad para resistir o mejorar cuando experimentan estrés (Johnson & Gheorghe, 2013).

Podría decirse en este punto que la resiliencia es la capacidad de retorno que un ente puede realizar, con mediciones cualitativas, mientras que la antifragilidad se da cuando, en dicho retorno, igual, después del percance, puede medirse cuantitativamente una mejora en su comportamiento.

A partir de este planteamiento, Aven defiende la tesis de que el concepto de antifragilidad representa una contribución útil a la práctica del análisis de riesgos. En este sentido, el

objetivo más importante propio de la gestión de riesgos, no consiste en estimar con precisión las probabilidades de eventos extraños, sino revelar y evaluar lo impredecible y tomar decisiones adecuadas bajo dicha incertidumbre (Aven, 2015, pág. 2).

Así, la práctica del análisis de riesgos, en comparación con la solidez y la resistencia del ente (arquitectónico), contribuye de manera precisa en la idea de vincular el concepto de antifragilidad con las variaciones, las incertidumbres y el riesgo. La robustez, entonces, y la resistencia abordan toda dimensión del estrés (Aven, 2015, pág. 17). Es por ello que en 3.3. se revisan conceptos estructurales de resistencia y rigidez como componentes, en principio, mecánicos, de la robustez y de su contraparte, la esbeltez. Relación esta última que puede equipararse con la fragilidad y la búsqueda de refuerzos (de todo tipo) después de afrontar las situaciones de adversidad. El riesgo partícipe inminente que ronda estas circunstancias bien podrá ser un punto de partida que coadyuve durante el proceso de gestión.

Taleb, comenta Aven, afirma que es muy difícil medir el riesgo para situaciones de la vida real; sin embargo, puede describirse, y ahí es donde radica el beneficio de la evaluación del riesgo, pues tales descripciones (cualitativas), “capturan mucho más que los números de probabilidad asignados de eventos extraños” (Aven, 2015, pág. 18).

Como mediciones y descripciones son los elementos involucrados en las características cualitativas y cuantitativas de lo investigado, a partir, por ejemplo, de informes de eventos previos se establecerán vínculos y referencias que permitan revisar datos manipulables y plantear correlaciones. En 2.3.3. se aborda esta temática.

Siguiendo con Aven, puede decirse que, en un momento dado, quien toma las decisiones, en el caso de algunos eventos, puede elegir invertir entre medidas efectivas y las de efecto inverso, por lo que “no se pueden proporcionar predicciones y estimaciones precisas; pero, por supuesto, en la mayoría de los casos, se pueden hacer descripciones informativas de riesgos” (Aven, 2015, pág. 19).

Como se ha aclarado y dado que lo frágil es más que lo esbelto, “la antifragilidad es más que resiliencia o robustez. Lo resiliente aguanta los choques y sigue igual; lo antifrágil mejora” (Taleb, 2019, pág. 27). En este punto se sintetiza el carácter de lo antifrágil y da pie para replantear los enfoques sobre la predicción, el pronóstico y la gestión de riesgo (Taleb, 2019, pág. 27). De aquí que sea posible que “en cada ámbito o área de aplicación se puedan proponer reglas para pasar de lo frágil a lo antifrágil reduciendo la fragilidad o controlando la antifragilidad. Y casi siempre es posible detectar la antifragilidad (y la fragilidad) aplicando una simple prueba de asimetría: todo lo que salga más beneficiado que perjudicado de sucesos aleatorios (o de ciertas crisis) será antifrágil; en caso contrario, será frágil” (Taleb, 2019, pág. 27).

¿Esto qué significado tiene en la línea de investigación que se está siguiendo?

Poder establecer un control en la edificación misma, previo a una adversidad y una evaluación posterior a la misma; esto es, tanto en la interpretación de la normatividad, como en el uso del inmueble por los usuarios y en la comunidad misma; para lo cual habrá que hacer las anotaciones pertinentes en el apartado 1.2., donde se aborda la iniciativa de gestión basada en la resiliencia, para acentuar las habilidades que deben poseer, entre otros, los técnicos encargados de revisiones y recomendaciones ulteriores

al evento (capítulo 2), así como dirigir el reforzamiento a las características antifrágiles (que no exclusivamente de robustez, en el capítulo 3).

“Es fundamental tener presente que, si la antifragilidad es una propiedad de todos los sistemas naturales (y complejos) que han sobrevivido, privar a estos sistemas de volatilidad, aleatoriedad y estresores los perjudicará. Se debilitarán, morirán o desaparecerán” (Taleb, 2019, pág. 27).

Es decir: la sociedad ha fragilizado la economía, la salud, la vida política, la educación, casi todo... pues se ha “eliminado el azar y la volatilidad” (Taleb, 2019, pág. 27).

En un acercamiento al fenómeno urbano, Nasim Taleb relaciona con lo frágil, tanto a *Robert Moses* como a Le Corbusier, mientras que, con lo antifrágil, a *Jane Jacobs* (Taleb, 2019, pág. 51). Con respecto a esta correlación, se puede observar lo siguiente:

La historia del urbanismo contemporáneo no puede ser contada sin hablar de *Moses* y *Jacobs*. Nunca se mezclaron por opuestos, pero sus obras, actos y declaraciones públicas son considerados como el ápice de la memoria urbana de toda una nación —y para algunos, son la influencia directa de todo el urbanismo en el mundo occidental. Como ejemplo, se tienen las declaraciones que dijo alguna vez *Rob Moses*, como «*those who can, build, those who can't, criticize* (los que pueden, construyen, los que no pueden, critican)», a las que, años después, *Jane Jacobs* respondió «*There is no logic that can be superimposed on the city; people make it, and it is to them, not buildings, that we must fit our plans* (No hay lógica que pueda superponerse a la ciudad; la gente lo hace, y es a ellos, no a los edificios, a los que deben adaptarse los planes propios)» (Lazos, 2015).

Ahora bien, por lo que respecta a Le Corbusier, baste comentar en este momento acerca de la tremenda influencia que ejerció en la urbanización latinoamericana, con el llamado estilo internacional. Pareciera que Taleb comprende esta situación al sostener que, gran parte del mundo moderno (tan estructurado), ha estado perjudicado con artilugios y políticas desde lo alto (de la crítica), con conceptos que Taleb contrapone, al designarlos con una aparente contradicción, como «ilusiones soviético-harvardianas» (Taleb, 2019, pág. 27) que tienden a menoscabar la antifragilidad de los sistemas.

Ésta es la tragedia de la modernidad: al igual que los padres tan sobreprotectores que rozan la neurosis, quienes más intentan ayudar son quienes más acaban perjudicando.

Si prácticamente todo lo que viene de arriba fragiliza y bloquea la antifragilidad y el crecimiento, todo lo que surge desde abajo prospera con una cantidad adecuada de desorden y de estrés. “El proceso mismo de descubrimiento (o de innovación, o de avance tecnológico) depende de la manipulación o experimentación antifrágil, de asumir riesgos con audacia más que de la educación formal” (Taleb, 2019, pág. 27).

“En ningún otro momento de la historia han ejercido tanto control tantas personas que no asumen ningún riesgo, que no se exponen en lo personal. La principal regla ética es ésta: no gozar de antifragilidad a costa de la fragilidad ajena” (Taleb, 2019, pág. 28).

Viene un largo camino, en torno a la determinación de todas las posibles injerencias, tanto en la gestión de riesgos, como en la normatividad estructural arquitectónica, que coadyuve en el desarrollo y la llegada a buen puerto de los conceptos aquí enunciados.

La ilusión de que puedan predecirse los sucesos a gran escala, imprevisibles, irregulares y con unas consecuencias de muy gran alcance, que sorprenden y perjudican a ciertos



observadores, que no los han prefigurado, impide el darse cuenta del papel de estos sucesos en la vida. Ésta (la vida) es más –muchísimo más– laberíntica de lo que aparece en la memoria: la mente convierte la historia en algo uniforme y lineal y hace que se subestimen los imprevistos. Pero, cuando el azar se evidencia, impera el miedo y se reacciona de manera exagerada. Este temor y esa necesidad de orden, hacen que algunos sistemas humanos, alterando la lógica invisible o casi invisible de las cosas, tiendan a verse expuestos al daño causado por tales imprevistos (Taleb, 2019, pág. 29).

Dado que, hasta ahora, no se ha podido llegar al sueño dorado de poder predecir con exactitud eventos sísmicos con magnitudes y aceleraciones, es muy reconfortante el saber que hay herramientas disponibles para afrontar científicamente dichas irrupciones terrenas.

La gestión de riesgos y el proceso proyectual, podrán ver una o varias luces atractivas con la ayuda que la antifragilidad ofrece, como principio metodológico, al encontrar el esclarecimiento integral de las múltiples posibilidades de interpretación.

## 1.2 LA RESILIENCIA EN LA GESTIÓN DE RIESGOS

Amador Terán-Gilmore, quien es uno de los principales promotores del llamado diseño sísmico basado en la resiliencia (Terán-Gilmore, 2020), comenta que el riesgo sísmico puede entenderse, desde una perspectiva de gestión, con las consecuencias económicas, sociales y ambientales de los propios eventos sísmicos que, en efecto, puedan ocurrir durante un periodo dado de tiempo (Terán-Gilmore, 2020, pág. 3).

Como parte del glosario, surge en este punto el término del peligro sísmico, con base en el siguiente esquema

**Riesgo sísmico = f (costo, peligro sísmico, vulnerabilidad)**

Mas, dicho concepto (peligro sísmico) podría incluirse en el de susceptibilidad (ver 1.5.3.) al entender que “ser vulnerable a un fenómeno natural significa ser susceptible a sufrir daño y tener dificultad para recuperarse del mismo” (Terán-Gilmore, 2020, pág. 5).

La respuesta que propone Terán se basa en la existencia de un buen reglamento de construcciones y su cumplimiento, así como en el uso de enfoques, tecnologías y sistemas estructurales innovadores, dado que “estos representan las mejores herramientas que posee una sociedad humana para reducir la vulnerabilidad física de su medio construido” (Terán-Gilmore, 2020, pág. 9).

Hasta este momento, se considera pertinente el análisis que se ha abordado en esta investigación en lo que respecta a la normatividad existente, así como a su evolución.

“En el ámbito de la sismorresistencia, la resiliencia es la habilidad de un sistema para minimizar el nivel de daño que sufre ante la ocurrencia de una excitación sísmica, de tal

manera que pueda re-ocuparse y recuperar su funcionalidad en el tiempo más corto posible” (Terán-Gilmore, 2020, pág. 10).

Es decir, que un inmueble poseerá un grado de resiliencia mayor cuando, después de una perturbación sísmica, pueda ocuparse en el menor tiempo posible y con el total de locales y objetos disponibles y sanos. Dicha temporalidad “depende del tipo y ocupación del edificio. Debe ser la comunidad, conforme a sus expectativas y sensibilidad, la que defina los niveles de resiliencia y tiempos asociados” (Terán-Gilmore, 2020, pág. 11).

Es importante, entonces, atender, no sólo lo que ocurre a los elementos estructurales propiamente dichos, sino a todos los que conforman el sistema arquitectónico, dado que “es posible que los materiales estructurales se dañen junto con los componentes no estructurales durante sismos de alta intensidad” (Terán-Gilmore, 2020, pág. 15).

### **1.2.1 Objetivos del Diseño Sismorresistente**

Como establece el Artículo 139 del Título Sexto del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal<sup>1</sup> aparte de garantizar la seguridad de las estructuras, existen “edificios que es necesario mantener en operación aún después de un sismo de magnitud importante” (Reglamento, 2018).

Por otro lado, las Normas Técnicas Complementarias establecen que, puesto que dicha normatividad debe aplicarse al diseño sísmico de edificios urbanos, los requisitos tienen como propósito obtener un comportamiento adecuado tal que:

---

<sup>1</sup> Aunque administrativamente ya es Ciudad de México, el instrumento normativo aún mantiene el nombre original correspondiente a Distrito Federal.

a) Bajo sismos que pueden presentarse varias veces durante la vida de la estructura, se tengan, a lo más, daños que no conduzcan a la interrupción de la ocupación del edificio.

b) Bajo el sismo en que se basa la revisión de la seguridad contra colapso según estas Normas, no ocurran fallas estructurales mayores ni pérdidas de vidas, aunque pueden presentarse daños y/o deformaciones residuales de consideración que lleguen a afectar el funcionamiento del edificio y requerir reparaciones importantes (NTC Sismo, 2017).

En este sentido, Terán-Gilmore señala que, “dada la continua evolución de los sistemas constructivos y de las formas arquitectónicas, no se prohíbe el empleo de otros sistemas o de diferentes combinaciones de los existentes, pero se exige que, en la documentación que se entregue a la Administración para la autorización de la obra, se incluyan los elementos necesarios para demostrar su idoneidad para tener un desempeño satisfactorio ante demandas sísmicas equivalentes a lo previsto en esta Norma” (Terán-Gilmore, 2020, pág. 157).

Por último, destaca que el “cuerpo normativo no ha sido establecido con el fin de prevenir el uso de materiales y dispositivos innovadores, y desincentivar el uso de métodos de diseño y construcción que no estén explícitamente cubiertos por sus requerimientos de diseño” (Terán-Gilmore, 2020, pág. 159).

Entonces, propone utilizar criterios de diseño sísmico basados en el control del desplazamiento lateral, tanto para el diseño de sistemas de control como para cualquier otro tipo de dispositivo o miembro que no pueda diseñarse de manera pertinente con un formato basado en fuerzas. También será posible usar estos criterios para plantear sistemas estructurales con desempeño sísmico superior al contemplado en las Normas Técnicas Complementarias, Sección 1.1 (NTC Sismo, 2017), como sería el caso de un diseño basado en resiliencia (Terán-Gilmore, 2020, pág. 159).

## 1.2.2 Metodología REDi

Tomando el esquema de REDi™ (*Resilience-Based Design Initiative*) o Iniciativa de diseño basada en la resiliencia, en la imagen 1.2.2.1. puede observarse que el diseño y la planificación resiliente se basa en los siguientes rubros (Redi TM, 2020):



Imagen 1.2.2.1. Marco de referencia u hoja de ruta hacia la resiliencia, según REDi™

- **Construcción resiliente o resiliencia del edificio:** Mínimo daño esperado a los componentes estructurales, arquitectónicos y de instalaciones a través del diseño mejorado.
- **Resiliencia organizacional:** Planificación de contingencia para interrupción, ruptura o descompostura de servicios públicos y continuidad comercial.

- **Resiliencia ambiental:** reduzca la posibilidad de que los riesgos inducidos por sismos dañen el edificio o restrinjan el acceso al sitio.

- **Estimado de pérdidas:** Cálculo de pérdidas financieras y el tiempo de inactividad para calificar el éxito de las medidas de diseño y planificación en el cumplimiento de los objetivos de resiliencia.

### **1.2.3 Metodología de USRC (*US Resiliency Council*)**

El USRC (Consejo de Resiliencia de Estados Unidos) implementa un sistema de calificación de edificios, en torno a la vulnerabilidad del entorno construido, certificación de ingenieros y entrega de evaluaciones creíbles del desempeño de edificios en desastres naturales y provocados por el hombre. El USRC sigue el modelo del Consejo de Edificios Verdes de los Estados Unidos (USGBC®), que a través de su sistema de clasificación LEED®, ha arraigado con éxito la sostenibilidad ambiental en la conciencia pública. El sistema de clasificación del USRC brinda información sobre la seguridad, el daño y la recuperación esperados de los edificios (Mayes & Reis, 2017).

El sistema USRC, como se puede ver en la imagen 1.2.3.1. brinda una calificación confiable en una evaluación del desempeño del edificio al ofrecer:

Coherencia, puesto que sólo ingenieros certificados pueden realizar una clasificación de USRC; credibilidad, dado que las calificaciones se someten a una auditoría técnica por parte de revisores certificados y; valor, al recibir los usuarios información útil sobre la seguridad del edificio, el costo de reparación y el tiempo para recuperar la función (Mayes & Reis, 2017).

<b>SEGURIDAD:</b> La posibilidad de que las personas en el edificio salgan después de un desastre y eviten lesiones corporales o la muerte. Se requiere una calificación de seguridad en todas las evaluaciones de edificios.	
*****	<b>Es poco probable que se produzcan lesiones y que se bloqueen las vías de salida:</b> el rendimiento esperado da como resultado condiciones que es poco probable que provoquen lesiones o que impidan que las personas salgan del edificio.
****	<b>Es poco probable que se produzcan lesiones graves:</b> el rendimiento esperado da como resultado condiciones que es poco probable que provoquen lesiones graves.
***	<b>Pérdida de la vida improbable:</b> el rendimiento esperado da como resultado condiciones que es poco probable que causen la pérdida de la vida.
**	<b>Posible pérdida de vidas en lugares aislados:</b> el rendimiento esperado da como resultado condiciones asociadas con colapso parcial o caída de objetos, que tienen el potencial de causar la pérdida de vidas en algunos lugares dentro o alrededor del edificio.
*	<b>Probable pérdida de vidas en el edificio:</b> el rendimiento esperado da como resultado condiciones asociadas con el colapso del edificio, que tiene un alto potencial de causar la muerte dentro o alrededor del edificio.
<b>COSTO DE REPARACIÓN:</b> Daño como porcentaje del costo total de reemplazo del edificio, incluidos los sistemas estructurales, arquitectónicos, mecánicos, eléctricos y de plomería. No incluye daños causados por roturas / fugas en tuberías de agua y gas o daños en el contenido.	
*****	<b>Daño mínimo:</b> el costo de reparación probablemente sea inferior al 5% del costo de reemplazo del edificio.
****	<b>Daño moderado:</b> el costo de reparación probablemente sea inferior al 10% del costo de reemplazo del edificio.
***	<b>Daño significativo:</b> el costo de reparación probablemente sea inferior al 20% del costo de reemplazo del edificio.
**	<b>Daño sustancial:</b> el costo de reparación probablemente sea inferior al 40% del costo de reemplazo del edificio.
*	<b>Daños graves:</b> el costo de reparación probablemente sea superior al 40% del costo de reemplazo del edificio.
<b>TIEMPO PARA RECUPERAR LA FUNCIÓN BÁSICA:</b> Una estimación del plazo MÍNIMO para llevar a cabo las reparaciones suficientes y eliminar los principales peligros y obstáculos de seguridad para recuperar la ocupación y el uso del edificio, pero no necesariamente para restaurarlo a sus funciones previstas completas.	
*****	<b>En cuestión de horas o días:</b> el rendimiento esperado probablemente dará como resultado que las personas puedan volver a ingresar rápidamente y reanudar el uso del edificio de inmediato a unos pocos días, excluyendo los factores externos.
****	<b>De días a semanas:</b> el rendimiento esperado puede resultar en un retraso del uso operativo mínimo de días a semanas, excluyendo factores externos.
***	<b>De semanas a meses:</b> el rendimiento esperado puede resultar en un retraso del uso operativo mínimo de semanas a meses, excluyendo factores externos.
**	<b>De meses a un año:</b> el rendimiento esperado puede resultar en un retraso del uso operativo mínimo de meses a un año.
*	<b>Más de un año:</b> el rendimiento esperado puede resultar en un retraso del uso operativo mínimo durante al menos un año o más.

Imagen 1.2.3.1. Clasificaciones de edificios de USRC: dimensiones y definiciones. (Mayes & Reis, 2017)

El USRC está iniciando con el lanzamiento de una categorización sísmica nacional para la edificación y se incrementará para incluir otros riesgos tales como el viento, las inundaciones, tormentas y fuego. Su meta a largo plazo es otorgar clasificaciones a las edificaciones para un amplio rango de riesgos tanto naturales como aquellos de origen humano (Mayes & Reis, 2017).

### 1.2.4 Metodología FEMA P-58

La metodología FEMA P-58, desarrollada por *The Federal Emergency Management Agency* (Agencia Federal de Gestión de Emergencia) precisamente para la evaluación del desempeño sísmico de edificios (por el Consejo de Tecnología Aplicada bajo su programa ATC-58) como el principal de una serie de criterios y pautas de diseño sísmico basados en el desempeño de próxima generación (Hamburger, 2014).

En la imagen 1.2.4.1. se puede observar el seguimiento metódico para la evaluación.

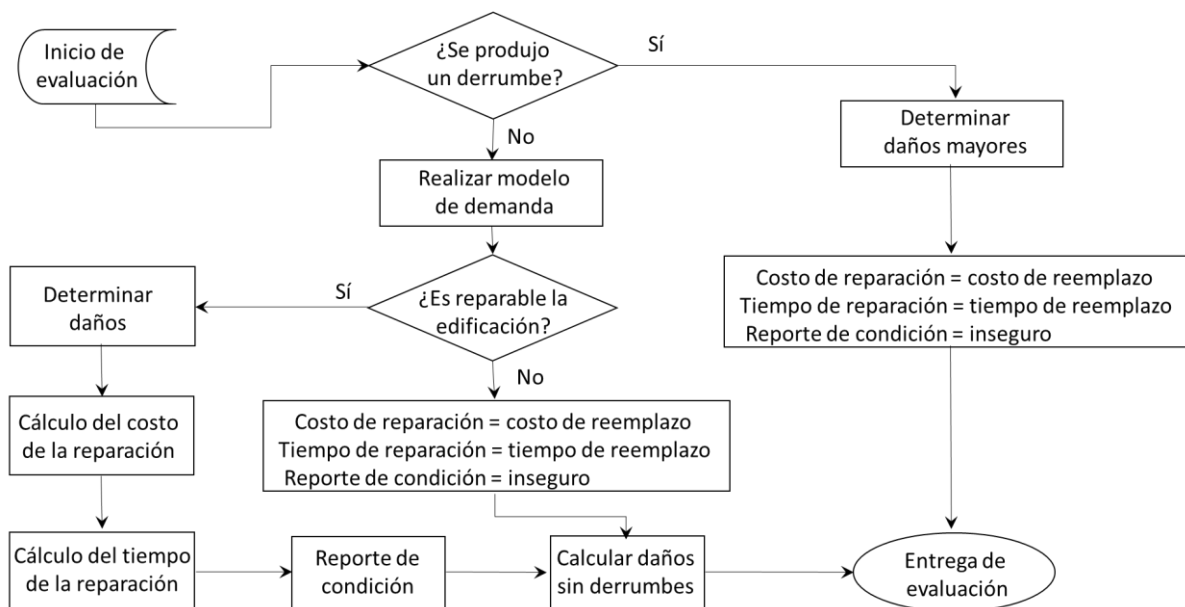


Imagen 1.2.4.1. Proceso de cálculo de desempeño, según FEMA P-58 (Hamburger, 2014)





## 1.3 HOJAS DE RUTA CON ENFOQUES RESILIENTES

A continuación, se presentan hojas de ruta con enfoques resilientes, con el objeto de generar el proceso de aplicación antifrágil en el programa interno.

### 1.3.1 Hojas de Ruta por módulos *SimCenter*

El rol de los módulos en el marco de aplicación desarrollado por *NHERI SimCenter* se ilustra de manera gráfica en la imagen 1.3.1.1. y se ve cómo se pueden integrar *software* en el marco de pre procesadores y post procesadores (Zsarnóczy & Deierlein, 2020).

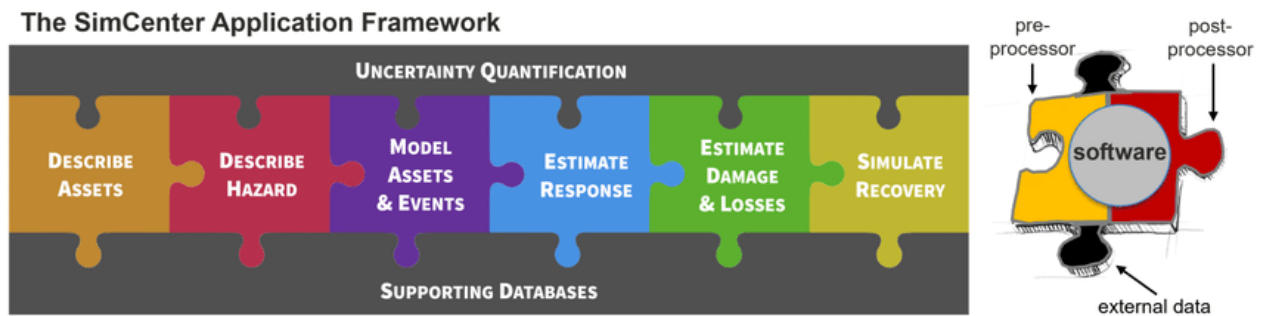


Imagen 1.3.1.1. El marco de la aplicación SimCenter (Zsarnóczy & Deierlein, 2020)

#### Cuantificación de la incertidumbre

- Describir activos
- Describe el peligro
- Modelaje activos y eventos
- Estimado de respuesta
- Estimado de daños y pérdidas
- Simular recuperación

### 1.3.2 Hoja de Ruta para Escuelas más Seguras y Resilientes



Imagen 1.3.2.1. Hoja de Ruta para Escuelas más Seguras y Resilientes (The World Bank, 2021)

- 1 Establecer una línea de base y determinar la condición y capacidad de la infraestructura escolar existente.
- 2 Comprender el marco de políticas que gobierna la infraestructura escolar y la demanda proyectada de aulas.
- 3 Comprender el marco regulatorio, las prácticas de gestión de la construcción y las tecnologías de construcción dentro de las cuales se planifica, diseña, construye, opera y mantiene la infraestructura escolar.
- 4 Comprender el entorno financiero dentro del cual se planifica, diseña, construye, opera y mantiene la infraestructura escolar.
- 5 Permitir que los equipos de trabajo identifiquen diferentes opciones de intervención cuantificando el daño potencial a los niños, los daños y pérdidas a la infraestructura escolar existente y la interrupción de los servicios causada por la ocurrencia de eventos peligrosos de diversa intensidad y frecuencia.
- 6 Establecer objetivos, prioridades y resultados esperados dentro del marco temporal del Plan y definir una estrategia de intervención en consecuencia.
- 7 Estimar el costo de la estrategia de intervención y proponer un plan de inversión dentro del plazo del plan.
- 8 Definir los arreglos de implementación del plan de acuerdo con la estrategia de intervención, el plan de inversiones y el marco institucional y legal del país.

### 1.3.3 Elementos para la evaluación de la resiliencia

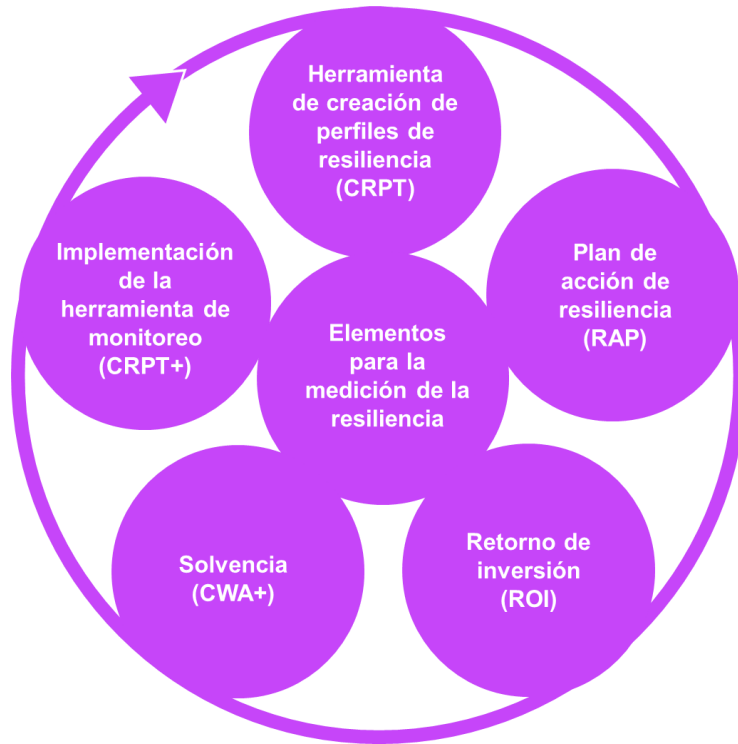


Imagen 1.3.3.1. Elementos para la medición de la resiliencia (Guía de Resiliencia Urbana, 2016, pág. 38)

Los conceptos presentados en la imagen 1.3.3.1. coadyugarán, junto con las hojas de ruta vistas en 1.3.1. y 1.3.2. para construir la hoja de ruta con criterios de antifragilidad en el apartado 4.4.3.



Imagen 1.3.3.2. Sostenibilidad y resiliencia. Dos términos pertenecientes al debate actual. Sostenibilidad en el sentido de experimentar la vida autónoma de la arquitectura y, resiliencia, como propiedad de retorno del ente después de sufrir adversidades. (Arquitectura Sostenible Resiliente, 2018)

## 1.4 CICLO DEL RIESGO

La revista digital Portal del conocimiento (*Knowledge Portal*), publicada por la Organización de las Naciones Unidas, especializada en temas de riesgo y desastres, define desastre como “una seria interrupción en el funcionamiento de una comunidad o sociedad que ocasiona una gran cantidad de muertes al igual que pérdidas e impactos materiales, económicos y ambientales que exceden la capacidad de la comunidad o la sociedad afectada para hacer frente a la situación mediante el uso de sus propios recursos” (Riesgos y Desastres, 2014).

Parece que las sociedades comienzan entender a los desastres como resultado de procesos que se generan a lo largo del tiempo, antes de que se manifiesten. Los riesgos entonces manifiestan elementos vulnerables presentes en áreas expuestas a amenazas. Así lo han reportado desde hace más de una década la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (*United Nations Office for Disaster Risk Reduction* o UNISDR, por sus siglas en inglés) así como otras organizaciones internacionales e incluso regionales, este tipo de amenazas aumenta debido a “impulsores subyacentes de riesgo tales como desarrollo económico desigual, el desarrollo urbano y regional pobremente planificado y administrado, el declive en los servicios de regulación de ecosistemas, la pobreza y la desigualdad, una gobernanza participativa frágil y capacidades locales insuficientes” (Riesgos y Desastres, 2014).

En este sentido, la propia UNDRR define la gestión del riesgo de desastres como “el proceso sistemático de utilizar directrices administrativas, organizaciones, destrezas y capacidades operativas para ejecutar políticas y fortalecer las capacidades de afrontamiento, con el fin de reducir el impacto adverso de las amenazas naturales y la

posibilidad de que ocurra un desastre. Cuando es exitosa, la gestión del riesgo de desastres disminuye o transfiere las consecuencias adversas de las amenazas mediante actividades y medidas relacionadas con la prevención, la mitigación y la preparación”. Véase en la imagen 1.3.1. la representación gráfica del ciclo de la gestión de riesgo (Riesgos y Desastres, 2014).

Las prioridades del organismo internacional, en torno a la implementación de políticas y medidas ha definido, dentro de sus prioridades, “trazar el camino para que los gobiernos y las sociedades puedan implementar medidas concretas a fin de prevenir la creación de nuevos riesgos, reducir el nivel existente de riesgos y fortalecer la resiliencia económica y social de las comunidades al enfocar a las personas y los bienes capitales que son vulnerables y que están expuestos a amenazas naturales” (Riesgos y Desastres, 2014).



Imagen 1.3.1. Ciclo original de Gestión de Riesgo

## 1.5 GESTIÓN DE RIESGOS

En México, la gestión integral de riesgos, según la Ley General de Protección Civil (Cámara de Diputados, 2018a) en su artículo 2, fracción XXVIII, queda definida como “el conjunto de acciones encaminadas a la identificación, análisis, evaluación, control y reducción de los riesgos, considerándolos por su origen multifactorial y en un proceso permanente de construcción, que involucra a los tres niveles de gobierno, así como a los sectores de la sociedad, lo que facilita la realización de acciones dirigidas a la creación e implementación de políticas públicas, estrategias y procedimientos integrados al logro de pautas de desarrollo sostenible, que combatan las causas estructurales de los desastres y fortalezcan las capacidades de resiliencia o resistencia de la sociedad”. Involucra las etapas que se representan en la Imagen 1.4.1. (Guía metodológica riesgos, 2019).

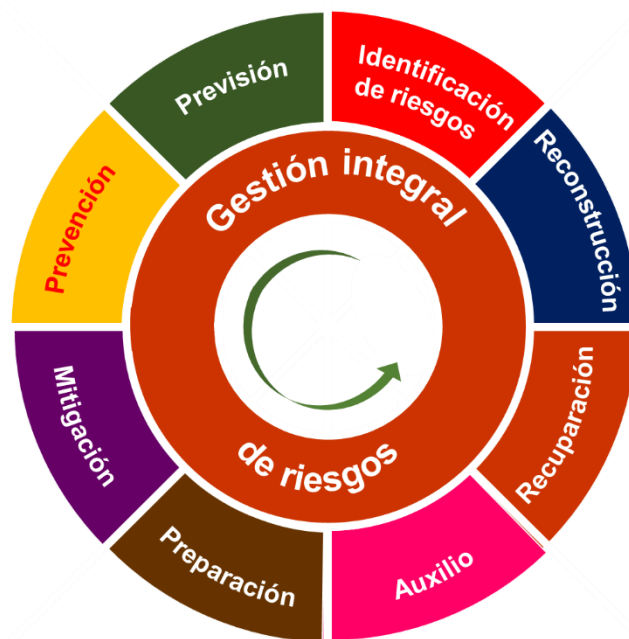


Imagen 1.4.1. Conceptos que intervienen en la gestión integral de riesgos



Las variantes existentes en los componentes de las imágenes 1.3.1. y 1.4.1. se revisarán con mayor detalle más adelante, en el apartado correspondiente al Programa interno de protección civil del Tecnológico de Milpa Alta II.

A continuación, con el objeto de realizar una primera aproximación al concepto de antifragilidad en la gestión de riesgos, se definirán los principales elementos conceptuales que intervienen durante los procesos, así como en la vulnerabilidad o fragilidad de las estructuras arquitectónicas.

De nueva cuenta, la Oficina correspondiente de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgos UNISDR, establece las siguientes definiciones:



Imagen 1.4.2. Describe una posible solución al impedir la propagación del riesgo (Icorp blog, 2018)

### 1.5.1 Riesgo

Según la terminología de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (ISDR), el “riesgo es la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y

sus consecuencias negativas.” (Protección Civil, 2020). Los factores que lo componen son la amenaza y la vulnerabilidad. Para efectos gráficos se puede representar con la siguiente expresión:

$$\text{RIESGO} = \text{AMENAZA} \times \text{VULNERABILIDAD}$$

También define el Riesgo de desastres como “Las posibles pérdidas que ocasionaría un desastre en términos de vidas, las condiciones de salud, los medios de sustento, los bienes y los servicios, y que podrían ocurrir en una comunidad o sociedad particular en un período específico de tiempo en el futuro.” (Protección Civil, 2020)

En el entendido de que el riesgo está en función de circunstancias, tanto del entorno físico como de los colectivos humanos conformantes de la comunidad, podría convenirse en determinar (al riesgo) como producto de una construcción social, la cual es responsable de los orígenes y de los procesos de desastre, en tanto que remite a la producción y reproducción de las condiciones de vulnerabilidad (García Acosta, 2005).

### **1.5.2 Amenaza**

Los fenómenos de perturbación que pueden ocurrir en todo tipo de circunstancias se conocen como amenazas, las cuales son eventos físicos, potencialmente perjudiciales, fenómenos y/o actividades humanas que pueden causar la muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental. (ONU. EIRD. Las Américas, 2004). La amenaza se determina en función de la intensidad y la frecuencia.

### **1.5.2.1 Alerta Temprana**

Provisión de información oportuna y eficaz a través de instituciones identificadas, que permiten a individuos expuestos a una amenaza, la toma de acciones para evitar o reducir su riesgo y su preparación para una respuesta efectiva. (ONU. EIRD. Las Américas, 2004).

Los sistemas de alerta temprana incluyen los siguientes elementos:

- conocimiento y mapeo de amenazas;
- monitoreo y pronóstico de eventos inminentes;
- proceso y difusión de alertas comprensibles a las autoridades políticas y población;
- adopción de medidas apropiadas y oportunas en respuesta a tales alertas (ONU. EIRD. Las Américas, 2004).

En función de la frecuencia de los fenómenos de perturbación ocurrientes en sitios determinados y/o localidades precisas, se han instalado mecanismos auxiliares técnicos que justamente brinda información relevante que mantiene en alerta a la población. (Véase imagen 1.5.3.)

### **1.5.3 Vulnerabilidad**

Se refiere a las características y circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza (Riesgos y Desastres, 2014). Es importante anotar que todos los términos que intervienen en el presente apartado han sido y son materia de investigaciones nacionales e internacionales

inmersas en todo tipo de temáticas, por lo que la extensión de cada definición será variable y, sobre todo, determinada por cada investigador.

Para los fines que se persiguen en el presente texto, se ha convenido en que los factores que componen la vulnerabilidad son: exposición, susceptibilidad y resiliencia o retorno, mismos que pueden representarse como sigue:

$$\text{VULNERABILIDAD} = \text{EXPOSICIÓN} \times \text{SUSCEPTIBILIDAD} / \text{RETORNO}$$

En donde

- La exposición es la condición de desventaja debido a la ubicación, posición o localización de un sujeto, objeto o sistema expuesto al riesgo (Egea-Jiménez, 2011).
- La susceptibilidad es el grado de fragilidad interna de un sujeto, objeto o sistema para enfrentar una amenaza y recibir un posible impacto debido a la ocurrencia de un evento adverso (Egea-Jiménez, 2011).

Como ha quedado expuesto en este primer capítulo, la construcción de resiliencia, en torno a la gestión de riesgos, podría derivar en propiedades de antifragilidad, como respuesta positiva ante todo tipo de adversidades o estresores, principalmente los de origen sísmico.

La antifragilidad, como capacidad de refuerzo o robustez, al tener la posibilidad de existir en todo ente, bien podrá contribuir a la revisión que se efectuará en el siguiente capítulo en torno a la normatividad que se ha desarrollado durante los últimos cien años, en

función de las figuras técnicas colaboradoras en la calificación de las edificaciones arquitectónicas.



ISC | SGIRPC



### Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, A. C. Sistema de Alerta Sísmica Mexicano

#### Informe Reciente

El día 12 de enero de 2021 a las 14:52:09 hrs. el SASMEX detectó un sismo inicialmente en 3 sensores, que No Ameritó aviso de Alerta porque la energía radiada por el sismo durante los primeros segundos no superó los niveles de activación. Es posible que el epicentro se localice dentro del círculo rojo.



Más información en [www.cires.org.mx](http://www.cires.org.mx)

Imagen 1.5.3. Informe gráfico obtenido de redes sociales. La frecuencia con la que se presentan ciertos fenómenos perturbadores en sitios determinados, permite ubicar sensores, cuya activación precisamente está en función de la ocurrencia de dichos eventos. En el caso de la actividad sísmica que se da en la llamada Falla de San Andrés (en las costas mexicanas del Océano Pacífico) y dado que hay recurrencia de movimientos telúricos, existe toda una red sensorial que previene, en la medida de lo posible, las repercusiones sísmicas en la meseta central del Valle de México (Alerta sísmica Sasmex, 2021)

## 2 ANTIFRAGILIDAD Y FIGURAS TÉCNICAS EN TORNO A EVENTOS SÍSMICOS

---

“Hubo un gran temblor en octubre. Apareció un cometa en noviembre. Dijeron que anunciaba la guerra atómica y el fin del mundo o cuando menos otra revolución en México”.

José Emilio Pacheco, de su libro Batallas en el desierto <sup>2</sup>

A partir de un análisis de la génesis, se identificaron conceptos de antifragilidad en lo referente a las figuras técnicas participes, en interacción con los eventos sísmicos: Directores Responsables de Obra, Corresponsables y Tercero Acreditado.

Se ha tomado como referencia un sitio emblemático, como es la actual Ciudad de México, puesto que ha sufrido una gran cantidad de calamidades, las más de carácter sísmico. Se estudiará mediante un recorrido a través de diversas etapas históricas, así como del análisis de la evolución normativa durante los últimos cien años. Ver imagen 2.1.1.

---

<sup>2</sup> Novela publicada en 1981

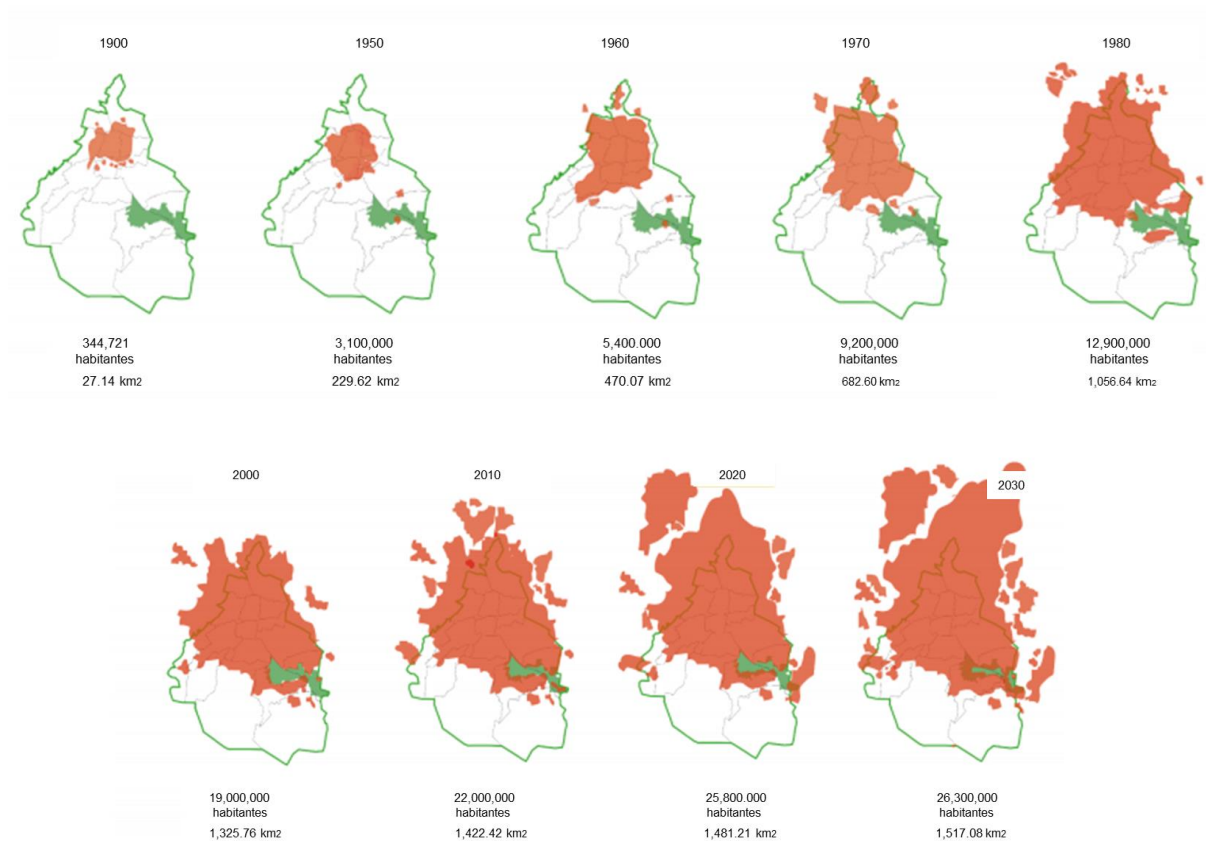


Imagen 2.1.1. Tendencias de crecimiento de la mancha urbana, a partir de 1900. En esta imagen puede verse claramente que el flujo migratorio, tanto del campo a la ciudad, como del interior de la república al centro de la misma (en este caso a su ciudad capital y la zona conurbada), ha determinado el crecimiento poblacional, con el incremento respectivo de ocupación del suelo. Este fenómeno debe ir acompañado de propuestas de seguridad de todo tipo. En este capítulo se aborda lo referente a los avances que se han dado en materia de normatividad, lo cual se demuestra a partir del análisis de los reglamentos de construcciones y el fortalecimiento que éstos le han dado a la seguridad de las edificaciones.  
<https://www.azp.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Aumento%20de%20la%20traza.pdf>

## 2.1 BREVE LÍNEA DEL TIEMPO

### 2.1.1 Período prehispánico

Durante la peregrinación mexicana que rodeó el lago de Texcoco y su breve estancia en Chapultepec, hacia el año 1319 las poderosas ciudades-Estado Azcapotzalco (Tepanecas), Culhuacan (Colhúas) y Xochimilco (Xochimilcas), se aliaron militarmente y los expulsaron de tierra firme y éstos se fragmentaron.

La mayoría llegó a Culhuacán, en donde se ofrecieron como tributarios a los Colhúas, a cambio de un sitio para poder asentarse, éste fue Tizapán, lugar inhóspito que propició el enfrentamiento con los “arrendadores” y, por ende, el retiro a los deshabitados lagos del sur. La elección, en todo caso, parece ser que no fue debido a una señal divina, sino al factor económico en los productos lacustres, a la facilidad de defensa y, sobre todo, al aspecto ideológico, esto es: al recrear el lugar de origen y la concepción del plano terrestre y el modo de vida.<sup>3</sup>

Como se puede apreciar en la imagen 2.1.3. la peregrinación mexicana siempre rodeó el Lago, hasta que se asentó en los islotes centrales gracias a la “ganancia” de terreno mediante la superposición de capas de piedra, cañas y tierra.

“La interacción de la geografía con las condiciones particulares de la sociedad impuso un sino ineludible al asentamiento mexicano. El mejoramiento del suelo mediante troncos y

---

<sup>3</sup> Según la explicación histórica, Aztlán existió realmente y los mexicanos partieron de su patria original a la busca de otro lugar que se le pareciera. Chavero (1967:466), por ejemplo, propuso que los mexicanos siempre buscaban lugares similares a Aztlán y que por ello se establecieron preferentemente en medios lacustres. México-Tenochtitlán es, por lo tanto, un reflejo de Aztlán, la materialización final del lugar de origen. Estas dos ciudades están separadas por un espacio real y por un tiempo histórico, que es el que registran las historias de la migración. Como el islote pertenecía al señorío de Azcapotzalco, parece ser que tuvieron que pagar tributo a los Tepanecas. Y así, hacia 1325, se fundó la ciudad de Tenochtitlán. Fuente: <http://www.historicas.unam.mx/publicaciones/revistas/nahuatl/pdf/ecn30/593.pdf>



rellenos para su precarga, la creación de plataformas artificiales de desplante, el empleo de materiales ligeros como el tezontle para reducir el peso, así como la edificación por etapas de obras magnas, son aún tradicionales aplicaciones, heredadas de una historia que prefiguró las actuales condiciones de la estabilidad estructural en la capital” (Platas, Prólogo, 2004).

Como la arquitectura monumental mexicana se basa, en toda acepción, en la forma monticular, ésta es, en sí misma y por su propia geometría, estable. Entonces, parece ser que uno de los principales riesgos que asolaban a la antigua Tenochtitlán era el de las inundaciones producidas por la subida del nivel del Lago. Eduardo Matos comenta que “Las inundaciones de la ciudad también eran constantes, lo que obligaba a los tenochcas a rellenar el terreno para elevar el nivel de las construcciones. Esto ocurría principalmente por el hundimiento que sufrían los edificios de grandes dimensiones asentados sobre un subsuelo lodoso en medio de un lago” (Matos, 2018).



Imagen 2.1.2. Templo Mayor de Tenayuca, al norte de Tenochtitlán. Estructura muy bien conservada con las proporciones y expresiones arquitectónicas de los mexicas. Foto del autor

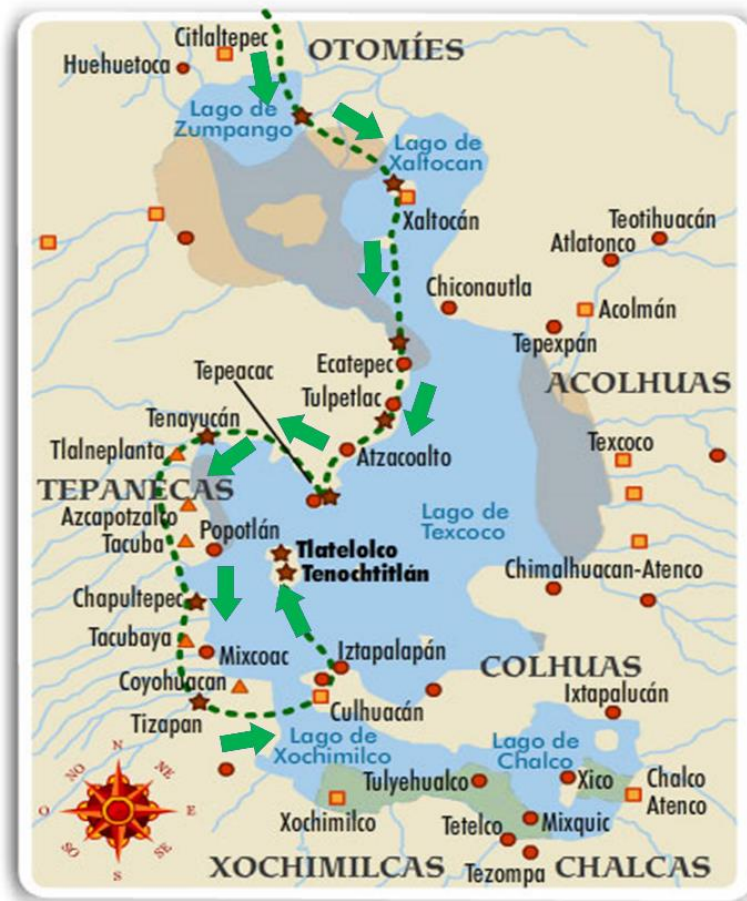


Imagen 2.1.3. Peregrinación mexicana en torno a la zona lacustre central. Las flechas marcan el recorrido siempre en la periferia, hasta la última etapa, cuando los mexicas pueblan los islotes del lago (Mapa, s.f.)

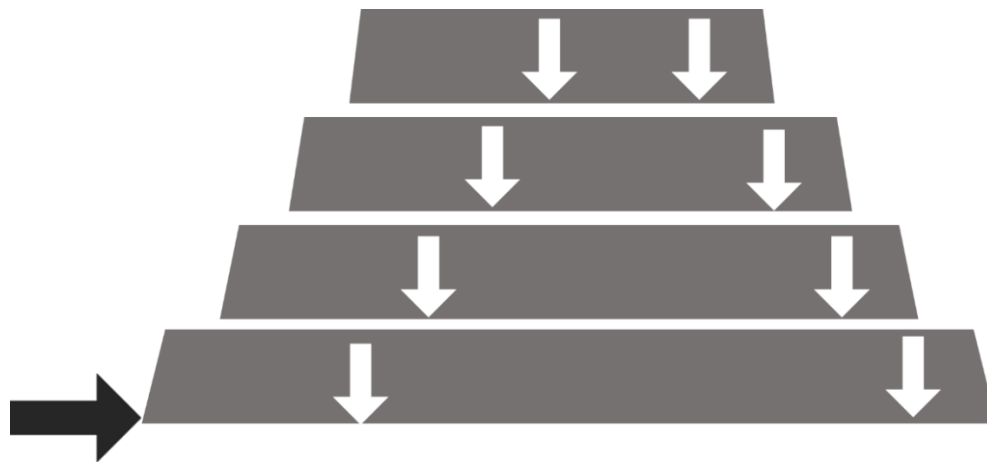
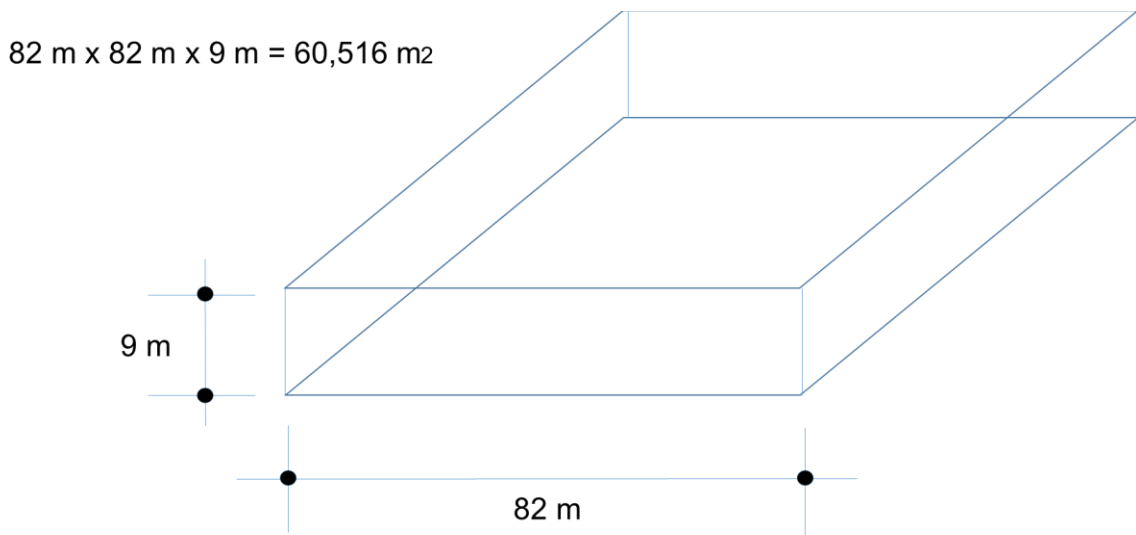


Imagen 2.1.4. En la que se aprecia que el montículo de elementos pétreos mantiene el predominio de las fuerzas gravitacionales, debido a que el ángulo lateral (de reposo) no origina empujes horizontales. Por otro lado, la fuerza sísmica horizontal que se ejerce en la base piramidal, es resistida en su totalidad por la fricción entre el suelo y el área de la masa volumétrica que se proyecta en el desplante del montículo.

“Un dato significativo acerca de esto es que se ha calculado que el desplante de la etapa II del Templo Mayor (ca. 1390 d.C.) se encontraba alrededor de nueve metros por debajo del nivel que pisaron los españoles al momento de la conquista en 1521. Habría que imaginar la enorme cantidad de material de relleno de tierra y tezontle que se necesitó para subir el nivel del recinto ceremonial en tan sólo un siglo o un poco más” (Matos, 2018).



La última etapa constructiva tuvo hasta 82 m por lado

Imagen 2.1.5. En donde se describe el volumen de material utilizado para subir el nivel del recinto ceremonial. Puede medirse un aproximado de la enorme cantidad de relleno de tierra y tezontle:  $60,516 \text{ m}^2$ . Tanto esta imagen como la anterior (2.1.4.) han sido realizadas por el autor.

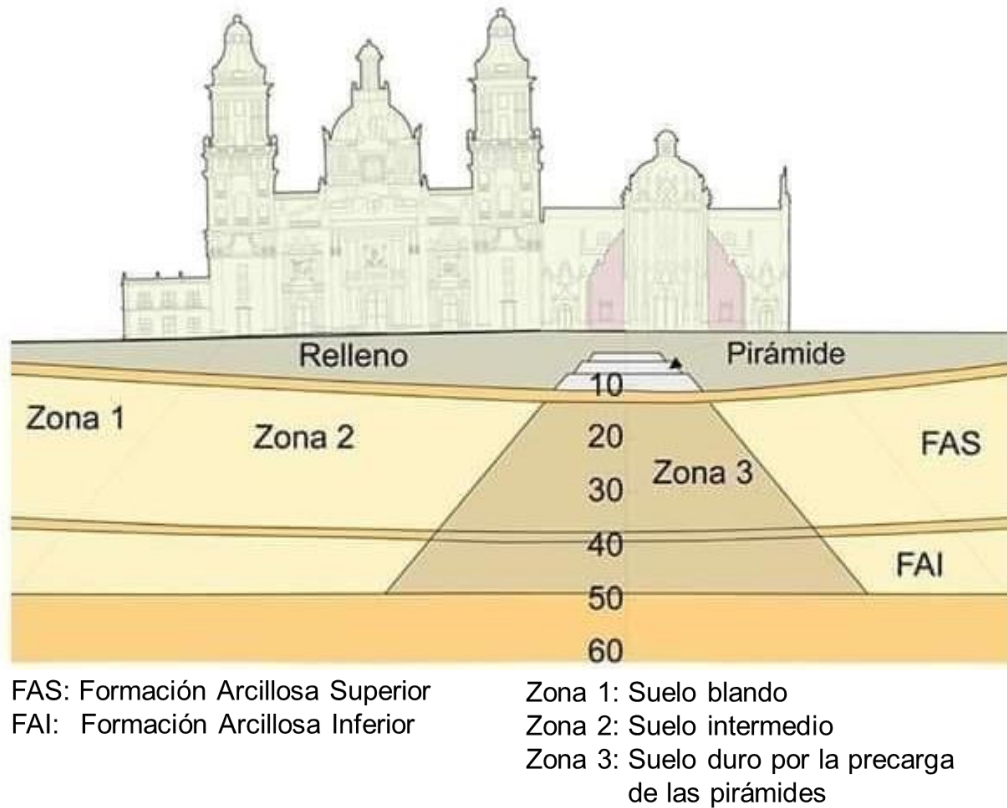


Imagen 2.1.6. En donde puede verse la enorme cantidad de relleno de tierra y tezontle (Cip, 2020)

La máxima calamidad sufrida, sin embargo, por la sociedad mexicana, sin duda, se originó con la invasión de los conquistadores peninsulares. En ese momento colapsaron todos los posibles sistemas de prevención y mitigación, no sólo en la arquitectura y el urbanismo, sino en la salud y la preservación de la vida misma.

Más adelante se analizará la relevancia de la conquista en las características psicosociales contemporáneas.

### 2.1.2 Período virreinal

Los primeros documentos conocidos en la Nueva España que atienden condiciones de estabilidad estructural son las Ordenanzas de Albañilería y las Ordenanzas Reales de

Felipe II. Los constructores novohispanos retomaron de Alberti la idea de la jerarquización de calles; de Serlio, la conveniencia de que, delante de cada fábrica monumental, existiera una plaza cuadrada; de Vitrubio, la conveniencia de trazar ciudades defendiéndolas de los vientos predominantes.

En el siglo XVIII, la influencia de pensadores franceses, como Belidor, desarrollaron la matematización de las técnicas constructivas.

“En la última etapa del virreinato la creación de la Academia de San Carlos trajo consigo la materialización de los conocimientos de múltiples generaciones y la consolidación de una enseñanza técnica, enriquecida por los cursos de mezclas de tierras para ladrillos, de construcción de bóvedas y arcos, así como de cálculos de esfuerzos.

La importancia de la Academia trascendió el plano de la enseñanza, al erigirse como la primera institución autónoma de especialistas del gremio, con autoridad para regular las primeras licencias de construcción y para supervisar los planos respectivos” (Platas, Prólogo, 2004).



Imagen 2.1.6. Bóvedas y arcos en la Academia de San Carlos (Fundación UNAM, s.f.)

### **2.1.3 Siglo XIX**

Aparte de la consolidación de la enseñanza académica, México dedicó gran parte de su vida a la consolidación como país. Tal vez esto propició que los grandes descubrimientos decimonónicos en el campo de las estructuras, como son el concreto reforzado y el acero estructural, no fueron utilizados de inmediato, como en el Occidente desarrollado, en las grandes alturas en las edificaciones.

### **2.1.4 Del siglo XX a la actualidad**

La probabilidad de riesgo en las ciudades, como se ha expuesto a lo largo de toda la investigación, está en función de las amenazas y vulnerabilidades que forman parre, aun sin saberlo, de la cotidianidad.

En la República Mexicana, en general, y en la Ciudad de México, en particular, cada evento de perturbación, independientemente de las pérdidas y desastres que origina, coadyuva en la prevención en cuanto a los futuros fenómenos relativos. Ejemplo de esto muy puntual es lo referente a los sismos severos que han ocurrido en territorio nacional, principalmente durante los últimos años. De hecho, podría decirse que los registros y mediciones iniciaron hacia mediados del siglo XX porque, si bien es cierto que “el 7 de junio de 1911 tembló en la ciudad capital, su magnitud y epicentro no están claramente definidos, a pesar de que causó 35 pérdidas humanas y daños materiales en edificios públicos, escuelas, en el cuartel militar de la Rivera de San Cosme y en el Templo de la Profesa, en el Centro Histórico” (López, 2019).





Imagen 2.1.7. Edificio La Nacional. Diseñado por Manuel Ortiz Monasterio entre 1929 y 1932, con el reto de construir un edificio alto para la época (fue el primero de más de 13 niveles) con el consabido riesgo sísmico. Fue el primer edificio en contar con un estudio previo de ingeniería antisísmica. Ha soportado más de 10 movimientos telúricos de consideración, sin haberse comprometido en ningún caso la estructura. La solución estructural, diseñada por los hermanos Bernardo y José Luis Calderón, fue a base de concreto armado y acero, con una cimentación mixta, con losa de concreto pretensado y alrededor de 100 pilotes, hincados a una profundidad de 55 metros. En 1934 fue el inmueble más alto de la capital. Foto del autor.

Roberto Meli Piralla, investigador del Instituto de Ingeniería de la UNAM, comentó en el mes de octubre de 2019, que a partir de la creación de dicho organismo (en 1956) y después del sismo del 28 de julio de 1957, con epicentro en las costas del Estado de Guerrero, “la ingeniería sísmica tuvo un impulso. El posgrado en Ingeniería se concentró en ingeniería sísmica.



Imagen 2.1.8. Torre Latinoamericana. Tiene 182 metros de altura y consta de 44 pisos. El proyecto arquitectónico corresponde a Augusto H. Álvarez; mientras que, la estructura metálica, fue diseñada por Leonardo Zeevaert y *Nathan M. Neumark*. Debajo de la torre se colocó una losa de cimentación, así como 361 pilotes. Otro punto a destacar de esta tecnología antisísmica está en los tres sótanos totalmente huecos que actúan como una especie de línea de flotación de un barco. (Gálvez, 2021) Foto del autor



El reglamento de construcciones de 1940 pedía una revisión. (...) La normativa se fue haciendo más racional y estricta, sobre todo en la versión correspondiente al reglamento de 1978” (López, 2019).

Un año después, ocurrió otro sismo relevante, justo el 14 de marzo de 1979, cuando hubo derrumbes en algunos edificios de la Universidad Iberoamericana, así como afectaciones en Acapulco, Zihuatanejo e Ixtapa, en el Estado de Guerrero, así como Lázaro Cárdenas, en Michoacán.



Imagen 2.1.9. *Word trade Center*. Hotel en un principio, debido a retrasos en la construcción se replanteó el proyecto para convertirlo en un Centro Internacional de Negocios. Tiene 50 pisos, estructura de concreto armado con 34 mil metros cúbicos de concreto, 28 mil toneladas de acero estructural y 56 amortiguadores sísmicos (Diario de México, 2019). Fue el edificio más alto de la ciudad en 1994. Foto del autor



Imagen 2.1.10. Torre de Pemex. Fue diseñada por Pedro Moctezuma. Mide 214 metros de altura. Se apoya en 164 pilas de concreto y acero que penetran a una profundidad de 32 metros. En su momento, fue el edificio más alto del país y dos años, de América Latina. Se le considera uno de los rascacielos más resistentes y seguros del mundo (La torre de Pemex, 2018). Foto del autor

“El 19 de septiembre de 1985 sucedió el de magnitud 8.1, con epicentro en las costas de Guerrero y Michoacán. Oficialmente hubo cuatro mil 500 muertos, pero las cifras extraoficiales llegaron hasta 20 mil fallecidos. (...) Entonces no había experiencias previas de un desastre de ese tamaño, lo que retardó las reacciones, el rescate de víctimas, la revisión de la habitabilidad de los edificios dañados y la reinstalación de los servicios de agua y telecomunicaciones, además de propiciar la insuficiencia de alojamientos de emergencia.



Imagen 2.1.11. Torres en Paseo de la Reforma. Complejo conformado por Torre Mayor, Torre BBVA Bancomer, Torre Chapultepec Uno y Torre Reforma. Le han dado en llamar Pequeño *Manhattan*. Podría decirse que, durante casi 20 años (desde el año 2003 hasta el actual 2021), en esta zona se han disputado los récords de edificios más altos en la CdMx. Todos los inmuebles cuentan con los avances técnicos y tecnológicos más modernos y novedosos en materia de diseño sismo resistente. Foto del autor

Los grupos organizados por el Instituto de Ingeniería para la evaluación hicieron levantamientos de daños de los edificios, zonificación de 15 zonas afectadas e integración de brigadas para cada una, con un formato único” (López, 2019).

El siguiente Reglamento de Construcciones estableció las figuras de Director Responsable de Obra (DRO) así como de Corresponsales en diferentes áreas.

Asimismo, el 20 de septiembre de 1988 se creó el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y a partir de entonces se han publicado instrumentos de colaboración, como por ejemplo (en 2016) la guía para elaborar el Atlas Nacional de Riesgos, mismo que se mantiene día a día vigente desde su publicación.

Así las cosas, podría pensarse que las experiencias de estos eventos habían generado una sociedad consciente y relativamente madura. Sin embargo, en 2017, justo el 19 de septiembre, en medio de homenajes y simulacros por el evento acaecido 32 años antes, ocurrió un sismo magnitud 7.1 precisamente en los límites entre Morelos y Puebla.

“Fue un evento de falla normal con epicentro en Axochiapan, Morelos. Aunque movimientos de este tipo y magnitud han sido frecuentes en la zona de Puebla, Morelos y Guerrero, por ser el epicentro más al norte de lo habitual, ha sido el primero de falla normal que ha causado daños en Ciudad de México” (López, 2019).

Meli indicó que “la mayoría de las estructuras colapsadas y dañadas son antes de 1985, con 90 por ciento de las afectaciones en edificios de menos de ocho niveles. Cincuenta y un por ciento de las estructuras mostraron haber tenido problemas del suelo o cimentación, mientras que los daños principales han ocurrido en muros de relleno o de fachada y columnas de concreto” (López, 2019).

El hecho es que deberían establecerse protocolos de reforzamiento diferentes: unos para las estructuras construidas con normativas antiguas y otros para las más recientes.

Más abajo se hará una relatoría acerca de las relaciones que guardan los sismos relevantes con (vélgase la expresión) relevantes aportaciones e innovaciones normativas, para lo cual, en principio, se vinculará la reglamentación con las figuras técnicas que surgen en los eventos significativos.

Podría decirse, entonces, que México emerge al mundo de la modernidad en 1964, a partir de los postulados de José Villagrán García en su Teoría de la Arquitectura con tintes "lecorbuserianos". Aunque desde el punto de vista de la tragedia y los riesgos, inició formalmente (dicha modernidad) a partir de 1956, con la creación del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

## 2.2 ANTECEDENTES DE FIGURAS TÉCNICAS

“El riesgo y los desastres, así como su asociación con la vulnerabilidad social y las amenazas naturales, han sido temas atendidos cada vez con mayor énfasis por los científicos sociales desde perspectivas disciplinarias y paradigmas de conocimiento diversos.

Por lo que a la antropología y a la historiografía mexicana se refiere, la incursión sistemática en estos temas se inició en el Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS) hace precisamente dos décadas. Fue detonada, como suele suceder en este campo de estudio, a partir de la ocurrencia de un evento desastroso: los sismos de 1985 que, sin duda, resultaron paradigmáticos en México en más de un sentido” (García Acosta, 2005).

Los aspectos normativos que acusa cada cambio reglamentario se pueden sintetizar en las reflexiones de Mario Ordaz Schroeder, quien “ha participado en prácticamente todas las modificaciones al reglamento a partir de 1985, es autor del programa “CRISIS” (la primera versión fue lanzada en 1986. R-CRISIS es la versión más nueva de CRISIS, una solución mundialmente conocida para realizar análisis de riesgo sísmico probabilístico (PSHA). El programa es el resultado de más de 30 años de continuas innovaciones, desarrollos y mejoras, proporcionando el software más completo, pero fácil de usar, adecuado para usos académicos y comerciales. <http://www.r-crisis.com/>), también encabezó el desarrollo de la plataforma CAPRA, patrocinada por el Banco Mundial, que incluye software para evaluaciones de riesgo multiamenaza” (SMIE, s.f.).

“La ciudad de México tiene normas de diseño por sismo desde 1942, las cuales se hicieron como consecuencia de unos temblores que ocurrieron en Colima unos meses antes y que, aparte de que se sintieron muy fuerte, provocaron daños.

Es una fecha muy temprana. Es una de las primeras ciudades del mundo que tuvo normas de diseño por sismo. Las Normas Técnicas Complementarias conforman un grupo de ordenamientos legales que están orientados a brindar un cierto nivel de seguridad estructural que sea razonable y coherente con las amenazas que hay en la ciudad de México. El hecho de que hay movimientos del suelo mucho más fuertes en las partes blandas que en las partes duras de la ciudad fue reconocido hace muchos años.

A finales de los años cincuenta ya hay artículos científicos en donde se modela el problema con bastante precisión. Por ese motivo en las Normas Técnicas de 1959 son las primeras que incluyeron diseños más conservadores (más estrictos) para las zonas de suelo blando que para las de suelo firme.

El factor clave para el riesgo sísmico en la ciudad de México son los suelos blandos” (Ordaz, 2018).



## 2.2.1 Evolución normativa en cuanto a figuras técnicas

### 2.2.1.1 1921 Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México (DOF, 1921)

Figura principal	Requisitos	Obligaciones	Observaciones
Constructor Responsable	No se encontraron.	Los constructores son responsables de la obra que dirijan mientras no den aviso a la Dirección de Obras Públicas de haber dejado esa responsiva. –Ninguna obra podría ejecutarse sin Constructor Responsable. –Responsable de la obra hasta que el propietario solicite su terminación. –Firmar los planos que se presentan a la Dirección de Obras Públicas (DOP). En el caso de que se cambie de constructor se presentaba una solicitud a la Dirección de Obras Públicas firmada por él y el nuevo constructor.	Aunque en el Artículo 9 se hace mención de un perito, no se le atribuye responsabilidad, salvo de constancia de datos.
<b>Definición</b>			
Serán responsables ante la ciudad por accidentes o faltas de cumplimientos de reglamento ocurridos en las obras que dirijan sin que queden excluidos de otras civiles o penales.			
Nota: Los artículos 327 al 329 solicitan la realización de pruebas de resistencia (que la Dirección de Obras Públicas DOP indique), de acuerdo con los datos de estabilidad del proyecto aprobado. Las pruebas se efectuarán ante un Inspector. La DOP no autorizará el uso del edificio sino hasta que hayan sido efectuadas a su entera satisfacción las modificaciones del caso.			

### 2.2.1.2 1942 Reglamento de las Construcciones y de los Servicios Públicos en el Distrito Federal (DOF, 1942)

Figura principal	Requisitos	Obligaciones	Observaciones
Perito Responsable	–Ser mexicano. –Título de Ingeniero o Arquitecto. –Tener cuando menos 3 años de experiencia de práctica profesional. –Estar domiciliado en el D.F. –Tener buena reputación.	–Presentar una fianza por \$3,000 al solicitar su registro en la DGOP (Cuando la multa máxima ser de \$500). –Actualizar su registro de Constructor a Perito Responsable. –Renovar su registro anualmente en el mes de diciembre. –Firmar el Libro Diario en sus visitas, que antes era 2 veces a la semana como mínimo. –Dar aviso a la DGOP de las etapas constructivas para su inspección. –Dar aviso de terminación de obra. –Todas las sanciones serán impuestas al Perito Responsable.	Clasificación –1er. Grupo: Ingenieros Civiles o Arquitectos podían autorizar solicitudes de todo tipo de obra. –2do. Grupo: Ingenieros que provenían de una escuela especial y sólo podían autorizar solicitudes para obras que pertenecían a su especialidad.
<b>Definición</b>			
Ingeniero o Arquitecto, Agente de la Dirección General de Obras Públicas (DGOP). Encargados de auxiliar a ésta en el desempeño de autorizar licencias, para obras de construcción pública o privada y le impone la obligación de vigilar las obras para las que haya solicitado licencia.			



### 2.2.1.3 1957/ Modificaciones al Reglamento de las Construcciones y de los Servicios Públicos en el Distrito Federal para prevenir los efectos de los sismos

A consecuencia del temblor del 28 de julio se decretaron adiciones al Reglamento, a través de las Normas de Emergencia.

Se actualizaron valores de coeficientes sísmicos y de grupos edificatorios.

No se modificaron las características de la figura técnica responsable.

### 2.2.1.4 1966 Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (DOF, 1966)

Figura principal	Requisitos	Obligaciones	Observaciones
Director Responsable de Obra	–Ser mexicano. –Ser miembro activo del Colegio respectivo.	–Debe realizar una visita por semana, donde debe firmar el Libro de Obra. –Llevar libro o bitácora.	–Se da un plazo para inscribirse en su Colegio respectivo.
<b>Definición</b>	Clasificación	–La inasistencia del Director Responsable por cuatro semanas consecutivas dará lugar a sanción y suspensión de obra hasta que tenga nuevo Director.	–La DGOP designará una Comisión de admisión de Directores Responsables.
Ingeniero o Arquitecto auxiliar en la DGOP responsable de la aplicación del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.	–1er. Grupo: Ingenieros o Arquitectos. –2do. Grupo: Ingenieros cuyo título indique una especialidad o Ingenieros Civiles y Arquitectos, con menos de 3 años de experiencia.		

Es importante destacar que, mientras que la figura técnica se va (re)definiendo en cada nueva edición normativa, los requisitos exigidos por las autoridades van siendo acumulativos.

Asimismo, las obligaciones de los responsables van adquiriendo mayor relevancia, conforme los avances tecnológicos y académicos.

Pero para el tema en desarrollo, más adelante se pretenderá mostrar la característica de antifrágil en el comportamiento legislativo. (Ver diagrama en la imagen 2.3.2.)

### 2.2.1.5 1976 Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (DOF, 1976)

Figura principal	Requisitos	Obligaciones	Observaciones
Director Responsable de Obra	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Ser mexicano</li> <li>–Poseer Cédula Profesional de cualquiera de las siguientes profesiones: Arquitecto, Ingeniero Civil, Ingeniero Arquitecto, Ingeniero Constructor Militar, Ingeniero Municipal.</li> <li>Podrán otorgar su responsiva para cualquier tipo de obra.</li> <li>–Ser miembro activo del Colegio respectivo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Podrá dirigir y vigilar la obra por si mismos o por medio de técnicos auxiliares.</li> <li>–Llevar un libro de bitácora foliado y encuadernado.</li> <li>–Vigilar la veracidad de las notas de Bitácora de Obra.</li> <li>–Se norma una responsabilidad administrativa de 5 años.</li> <li>–Otorgar responsiva para Licencias de Construcción.</li> <li>–Responsivas para dictámenes de estabilidad o Seguridad Estructural.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Los Ingenieros Mecánicos, Ingenieros Mecánico Electricistas, Ingenieros Petroleros, Ingeniero Aeronauta, Ingeniero Topógrafo, Ingeniero Químico, podrán otorgar responsiva para cualquier obra relacionada con su especialidad y en obras civiles que tengan 9 m de altura como máximo y claros hasta de 6 m.</li> </ul>
<b>Definición</b>			
Persona física o moral cuya actividad esté total o parcialmente relacionada con el proyecto y construcción de obra, y quien se hace responsable de la observancia del Reglamento en las obras para las que otorgue su responsiva.			

### 2.2.1.6 1985/Octubre. Normas de Emergencia en materia de Construcciones para el Distrito Federal

A consecuencia del temblor del 19 de septiembre se decretaron adiciones al Reglamento, a través de las Normas de Emergencia.

No se modificaron las características de la figura técnica responsable.



Imagen 2.2.1. Cobertura de la red acelerográfica del Instituto de Ingeniería (Alcántara Nolasco & Valdés González, s.f.)

### 2.2.1.7 1987 Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (DOF, 1987)

<b>Figura principal</b>	<b>Requisitos</b>	<b>Obligaciones</b>	<b>Observaciones</b>
Director Responsable de Obra	–Poseer Cédula Profesional de cualquiera de las siguientes profesiones: Arquitecto, Ingeniero Civil, Ingeniero Arquitecto, Ingeniero Constructor Militar, Ingeniero Municipal. -Acreditar dictamen ante la Comisión de admisión de Directores Responsables -Un mínimo de 5 años de ejercicio profesional. –Ser miembro activo del Colegio respectivo.	–Dirigir y vigilar la obra asegurándose de que proyecto y ejecución cumplan con las disposiciones normativas. –Contar con el auxilio de corresponsables. –Planear y supervisar todas las medidas de seguridad. –Entregar al propietario planos actualizados. –Al término, elaborar y entregar al propietario los manuales de operación y mantenimiento.	–Aparece la figura del corresponsable, el que debe de aparecer en el letrero de la obra.
<b>Definición</b>			
Persona física o moral que se hace responsable de la observancia normativa..			

<b>Otras Figuras</b>	<b>Requisitos</b>	<b>Obligaciones</b>	<b>Observaciones</b>
Corresponsable en seguridad estructural	–Poseer Cédula Profesional de cualquiera de las siguientes profesiones: Arquitecto, Ingeniero Civil, Ingeniero Arquitecto, Ingeniero Constructor Militar, Ingeniero Municipal. -Acreditar dictamen ante la Comisión de admisión de Directores Responsables -Un mínimo de 5 años de ejercicio profesional. –Ser miembro activo del Colegio respectivo.	–Suscribir solicitud de licencia junto con el DRO. –Verificar compatibilidad entre cimentación y estudios de uso de suelo. –Vigilar la obra asegurándose de que proyecto y ejecución cumplan con las disposiciones normativas. –Notificar al DRO de cualquier irregularidad.	–Debe aparecer su nombre en el letrero de la obra. Hay otros corresponsables: En Diseño Urbano y Arquitectónico y en Instalaciones.
<b>Definición</b>			
Persona física o moral con los conocimientos técnicos adecuados para responder en forma solidaria con el Director Responsable de Obra.			

### 2.2.1.8 1993/Agosto. Aparece otra versión del Reglamento<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Debido a que en la actualización no hay modificaciones sustanciales en cuanto a la figura técnica, se decidió no incluir ni los requisitos ni las obligaciones de los contenidos normativos.

### 2.2.1.9 2004 Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (Gaceta DF, 2004)

<b>Figura principal</b>	<b>Requisitos</b>	<b>Obligaciones</b>	<b>Observaciones</b>
Director Responsable de Obra	–Poseer Cédula Profesional de cualquiera de las siguientes profesiones: Arquitecto, Ingeniero Civil, Ingeniero Arquitecto, Ingeniero Constructor Militar, Ingeniero Municipal. -Acreditar dictamen ante la Comisión de admisión de Directores Responsables -Un mínimo de 5 años en ejercicio. –Ser miembro activo del Colegio respectivo.	–Dirigir y vigilar la obra asegurándose de que proyecto y ejecución cumplan con las disposiciones normativas. –Contar con el auxilio de corresponsables. –Planear y supervisar todas las medidas de seguridad. –Entregar al propietario planos actualizados. –Al término, elaborar y entregar al propietario los manuales de operación y mantenimiento. –Observar en la elaboración del Visto Bueno de Seguridad y Operación las previsiones contra incendio contenidas en el Reglamento y en las Normas Técnicas.	–Debe, además, acotar en los planos del proyecto ejecutivo las áreas de donación en las obras que señale la normativa aplicable.
<b>Definición</b>			
Persona física auxiliar de la Administración, con autorización y registro de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, que se hace responsable de la observancia de la Ley, en el acto en que otorga su responsiva.			

<b>Otras Figuras</b>	<b>Requisitos</b>	<b>Obligaciones</b>	<b>Observaciones</b>
Corresponsable en seguridad estructural	–Poseer Cédula Profesional de cualquiera de las siguientes profesiones: Arquitecto, Ingeniero Civil, Ingeniero Arquitecto, Ingeniero Constructor Militar. -Acreditar dictamen ante la Comisión de admisión de Directores Responsables -Un mínimo de 5 años de ejercicio profesional. –Ser miembro activo del Colegio respectivo.	–Suscribir solicitud de licencia junto con el DRO. –Verificar compatibilidad entre cimentación y estudios de uso de suelo. –Vigilar la obra asegurándose de que proyecto y ejecución cumplan con las disposiciones normativas. –Notificar al DRO de cualquier irregularidad.	– Puede suscribir de forma autónoma: planos y memoria estructural, pruebas de control de calidad de materiales, dictamen técnico de estabilidad y constancia de seguridad estructural.
<b>Definición</b>			
Persona física auxiliar de la Administración, con autorización y registro de la SeDuVi, con los conocimientos técnicos adecuados para responder en forma conjunta con el DRO, o autónoma en las obras en que otorgue su responsiva, en todos los aspectos técnicos relativos a la seguridad estructural.			
Nota: Se incorporan en su competencia las edificaciones ubicadas en zonas del Patrimonio Histórico, Artístico y Arqueológico de la Federación o en áreas de conservación patrimonial del Distrito Federal.			

### 2.2.1.10 2017 Norma Técnica Complementaria para la Revisión de la Seguridad Estructural de las Edificaciones (NTC-RSEE) del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (Gaceta DF, 2017)

La figura del Director Responsable de Obra se mantiene con las mismas características.

La figura de Corresponsable en Seguridad Estructural se clasifica en dos niveles y se incorporan especialistas, como a continuación se verá.

Otras Figuras	Características
Corresponsable en seguridad estructural Nivel 1	–son aquellos Corresponsables con al menos 5 años de experiencia acreditada en diseño estructural y que aprueben el examen correspondiente.
Corresponsable en seguridad estructural Nivel 2	–son aquellos Corresponsables con al menos 15 años de experiencia acreditada en diseño estructural y que aprueben los exámenes correspondientes.
Nota: Se incorpora el Instituto para la Seguridad de las Construcciones en el Distrito Federal (y su Ley) como entes normativas que observan la aplicación integral reglamentaria.	

Especialistas auxiliares que intervienen en la revisión		
–en ingeniería estructural	– en ingeniería geotécnica	– en peligro sísmico, movimientos del terreno y espectros y acelerogramas de diseño
Todos trabajarán bajo la coordinación del Corresponsable deberán tener experiencia adicional en:		
a) Diseño estructural y detallado por sismo; b) Evaluación y rehabilitación sísmica de estructuras existentes; c) Diseño de estructuras a base de materiales, sistemas o tecnologías por ser empleadas en el proyecto; d) Análisis no lineal paso a paso; e) Diseño por desempeño; f) Aplicación de recomendaciones provenientes de investigación en ingeniería estructural.	a) Diseño de sistemas de cimentación y obras subterráneas del tipo propuesto para el proyecto; b) Interpretación de estudios geotécnicos y geológicos; c) Deslizamiento de masas térreas y otros peligros de sitio; d) Soluciones para la contención y estabilización de excavaciones; e) Mejoramiento de suelos; f) Presión de tierra estática y dinámica; g) Desagüe y bombeo de agua; h) Efectos geotécnicos en estructuras vecinas; i) Aplicación de recomendaciones provenientes de investigación en ingeniería geotécnica.	a) Requisitos del Reglamento relacionados con peligro sísmico, movimientos del terreno y espectros sísmicos de sitio; b) Características de fallas geológicas regionales y locales; c) Efectos de sitio y espectros sísmicos de sitio; d) Ecuaciones de predicción de movimientos del terreno; e) Selección y escalamiento de movimientos, y su aplicación en una estructura; f) Aplicación de recomendaciones provenientes de investigación sobre peligro sísmico y selección y escalamiento de movimientos.

“El reglamento de construcciones se ha basado en la propuesta que se entregó el 18 de septiembre de 2017, es decir, justamente un día antes del sismo. Lo anterior se decidió a partir de analizar que, con excepción de un par de sitios de los que están instrumentados (medidos), el comportamiento sísmico no se excedió de los valores considerados en las normas”. (Ordaz, 2018)<sup>5</sup>

Podría decirse que la República Mexicana se encuentra en una etapa inter sísmica, aunque, claro, esta aseveración no es del todo exacta, ya que prácticamente todo el tiempo se producen movimientos telúricos en todo el territorio nacional. Como podrá notarse en la imagen 2.2.2., cada año, el Servicio Sismológico Nacional registra una gran cantidad de temblores, clasificados con base en su magnitud. Las fechas que se presentan van de 1990 a 2019 (Servicio Sismológico Nacional, 2020).

---

5 “La relación del Instituto de Ingeniería con las Normas es muy antigua. Los primeros dos estudios que se hicieron a mediados del siglo XX sobre el conocimiento de los suelos del Valle de México fueron realizados por dos investigadores que estuvieron muy cerca del Instituto: el Dr. Raúl J. Marsal Córdoba y el Dr. Marcos Mazari Menzer

Este Instituto, desde su fundación, ha colaborado en el estudio de los problemas sísmicos de la ciudad y proponiendo modificaciones-adiciones a las Normas, casi siempre conduciendo tal proceso.

El Instituto tiene una pequeña red acelerométrica, dentro de la ciudad. De hecho, era la única red que estaba operando once instrumentos en 1985. Actualmente ya hay otros organismos que operan estaciones acelerométricas, como CIRES (Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, A.C.), Cenapred (Centro Nacional de Prevención de Desastres), y se han construido diferentes tipos de modelos teóricos-empíricos sobre la respuesta de los suelos del Valle de México.

Las autoridades del Gobierno del Distrito Federal, GDF, han patrocinado desde su origen, en 1987, el diseño y desarrollo de la actual Red Acelerográfica de la Ciudad de México, (RACM). Este recurso tecnológico a cargo del CIRES, ha permitido obtener información para comprender y adecuar eventualmente los factores de diseño sísmico del Reglamento de Construcción del DF.

Para advertir el efecto que causan los sismos grandes que ocurren eventualmente en la costa de Guerrero, con el auspicio de la Secretaría de Obras del GDF, actualmente Instituto en las Construcciones en el D.F., en diciembre de 1989, el CIRES desarrolló el Sistema de Alerta Sísmica, SAS, de la Ciudad de México, en operación desde 1991 y como servicio público desde 1993” (Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, A.C. CIRES [http://www.cires.org.mx/cires\\_es.php](http://www.cires.org.mx/cires_es.php)).

“Los suelos firmes no presentan en lo general problemas sísmicos ni de cimentación. Estos problemas ocurren en las zonas de los antiguos lagos.

Los daños en el 2017 están concentrados en el borde de los lagos y los de 1985, hacia el centro de los mismos. Es un patrón un poco diferente que obedece a la naturaleza (diferente) de las ondas que incidieron en cada uno de los temblores.

La predicción de los sismos es un objetivo e ideal científico de toda la vida. Nos encantaría a todos estar en posibilidad de hacerlo.

No hay ningún método que dé mejores resultados que el azar.

En los 32 años que transcurrieron entre el temblor de 1985 y el de 2017 no se realizó ninguna planeación. Debe hacerse un esfuerzo para planear la próxima catástrofe. ¿Cómo se va a gestionar?

Estrategia de reconstrucción, de indemnización, de obtención de recursos.

Si se piensa en los diferentes escenarios y se tienen reglas escritas sobre lo que se va a hacer, acaba siendo poco importante cuándo ocurre el temblor.

Ninguna generación se va a escapar de tener un temblor intenso en la ciudad de México.

Pero si se planea bien el manejo de la emergencia con esfuerzos de largo plazo de mitigación” (Ordaz, 2018).

Ver en imagen 2.2.1. la cobertura de la red acelerográfica del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

AÑO	Total de Sismos	MAGNITUD							
		No calculable	0 - 2.9	3 - 3.9	4 - 4.9	5 - 5.9	6 - 6.9	7 - 7.9	8 - 8.9
1990	796	1	12	247	510	24	2	0	0
1991	728	4	2	183	509	29	1	0	0
1992	614	1	4	184	398	27	0	0	0
1993	916	1	47	274	548	40	5	1	0
1994	622	0	20	192	383	24	3	0	0
1995	678	0	17	188	438	26	6	2	1
1996	789	0	8	203	543	32	2	1	0
1997	1019	13	44	388	533	34	6	1	0
1998	1024	2	11	453	532	21	5	0	0
1999	1099	1	12	542	527	11	4	2	0
2000	1052	9	28	463	531	18	2	1	0
2001	1344	9	8	704	585	32	6	0	0
2002	1688	0	4	880	760	40	4	0	0
2003	1323	0	5	728	568	18	3	1	0
2004	1346	0	2	669	639	33	3	0	0
2005	1210	0	1	678	514	17	0	0	0
2006	1356	0	0	792	544	19	1	0	0
2007	1528	0	1	728	764	33	2	0	0
2008	1958	0	7	1154	780	15	2	0	0
2009	2301	0	5	1648	610	37	1	0	0
2010	3462	0	23	2454	954	27	3	1	0
2011	4272	0	44	3357	839	27	5	0	0
2012	5244	1	21	4106	1054	50	10	2	0
2013	5361	0	57	4221	1046	33	4	0	0
2014	7608	1	238	6365	954	42	7	1	0
2015	10946	1	251	9056	1605	30	3	0	0
2016	15547	0	557	13501	1453	29	7	0	0
2017	26564	0	470	21628	4383	79	2	1	1
2018	30407	0	1584	25657	3122	41	2	1	0
2019	26444	0	308	23004	3087	43	2	0	0

Imagen 2.2.2. Estadísticas reportadas por el SSN (Servicio Sismológico Nacional, 2020)

Es de destacar la posibilidad de conocer la realidad del comportamiento telúrico mediante el análisis de los datos expuestos en la imagen 2.2.2.

### 2.2.1.11 2020/Junio. Normas Técnicas Complementarias para diseño por sismo

A consecuencia del temblor del 19 de septiembre de 2017 se decretaron adiciones a las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento.

No se modifican las características de la figura técnica responsable.

## 2.3 TENDENCIA HISTÓRICA DE ROBUSTECIMIENTO



Imagen 2.3.1. Gráfica de evolución normativa de los requisitos, en donde los requisitos reglamentarios van siendo acumulativos



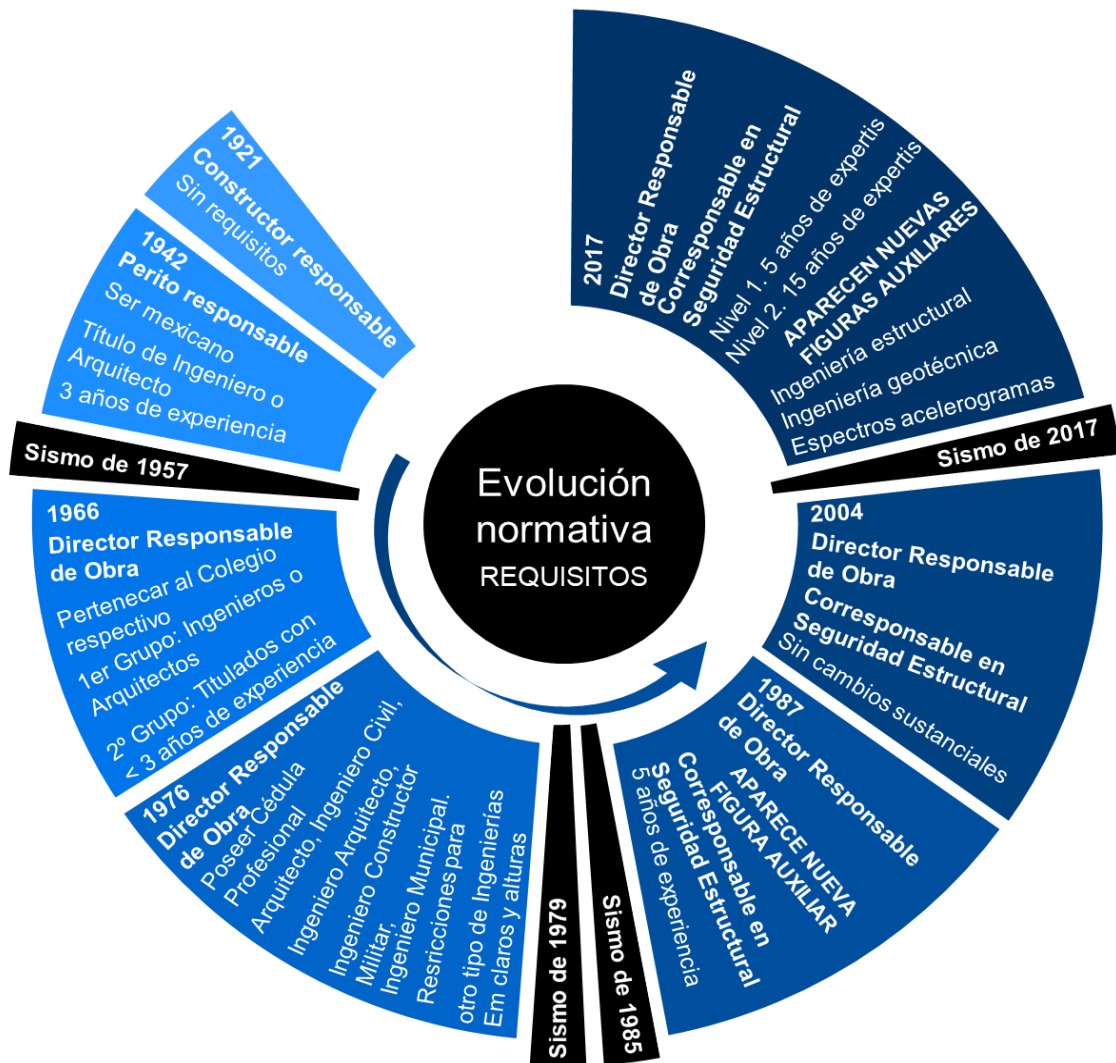


Imagen 2.3.2. Injerencia de eventos sísmicos en la evolución normativa

### 2.3.1 Injerencia de eventos sísmicos y robustecimiento

La actualización normativa es necesaria en todos los aspectos sociales. Debe de responder, de alguna manera, a las exigencias que genera la evolución misma de la especie humana, principalmente en conjunción con todo su entorno, tanto en lo ambiental, económico y político como en lo psicogeográfico.

Sin embargo, en la temática tratada en la presente investigación hay un factor más que interviene en la toma de decisiones. Éste es precisamente el correspondiente al concepto de la antifragilidad, entendida como el refuerzo del ente a partir de un estresor.

Es por ello que se ha hecho una correlación entre los eventos sísmicos significativos y su respuesta normativa en la inmediatez de la emergencia, pero, sobre todo, en la extensión del tiempo medio del análisis y aplicación de mejoras.

Así, puede observarse que los requisitos exigidos a las figuras técnicas se han ido robusteciendo, de alguna manera, en el contexto antifrágil, al responder a deficiencias y adolecencias en participaciones en anteriores eventos sísmicos.

Al compenetrarse en la gráfica 2.3.2. se puede mencionar que, después del sismo de 1957, y también a raíz del afianzamiento de los órganos colegiados, se incorporó el requisito de pertenencia al colegio respectivo.

Pero, el cambio más representativo, con el que la norma se robusteció, se dio después del suceso de 1985, en la que se da mayor precisión a la labor del Director Responsable de Obra, con la aparición de importantes colaboradores auxiliares, como son los corresponsables en varias disciplinas técnicas, en el caso particular, el corresponsable en seguridad estructural, con una serie de requisitos totalmente novedosos (dado que la figura no existía).

Lo más importante, en definitiva, fue la creación de la Comisión de admisión de Directores Responsables y la acreditación de un dictamen ante tal Comisión.

La Norma Técnica Complementaria para la Revisión de la Seguridad Estructural de las Edificaciones (NTC-RSEE), aparecida justamente después de los eventos de septiembre

de 2017, reclasifica la figura del Corresponsable en Seguridad Estructural en dos niveles, exigiéndole a cada uno de ellos diferentes requisitos, sobre todo en cuanto a los años de experiencia, para una participación más estricta.



Imagen 2.3.3. Gráfica de evolución normativa de las obligaciones, en donde los requisitos reglamentarios también van siendo acumulativos



Imagen 2.3.4. Injerencia de eventos sísmicos en la evolución de las obligaciones

### 2.3.2 Injerencia de eventos sísmicos y concepto de robustez en las obligaciones

Como se trató en los requerimientos normativos (ver 2.3.1.), también aplica por lo que respecta a las obligaciones, ya que puede observarse un comportamiento antifrágil en tanto retorno con refuerzo después del estresor.

En este caso, puede observarse que las obligaciones adquiridas han sido prácticamente acumulativas desde el primer reglamento hasta el último. Pero dicha suma de cargas y

responsabilidades no han sido producto del azar, sino precisamente del cúmulo de las circunstancias acaecidas durante todos y cada uno de los estresores mencionados desarrollados a partir de 1911 y hasta 2017.

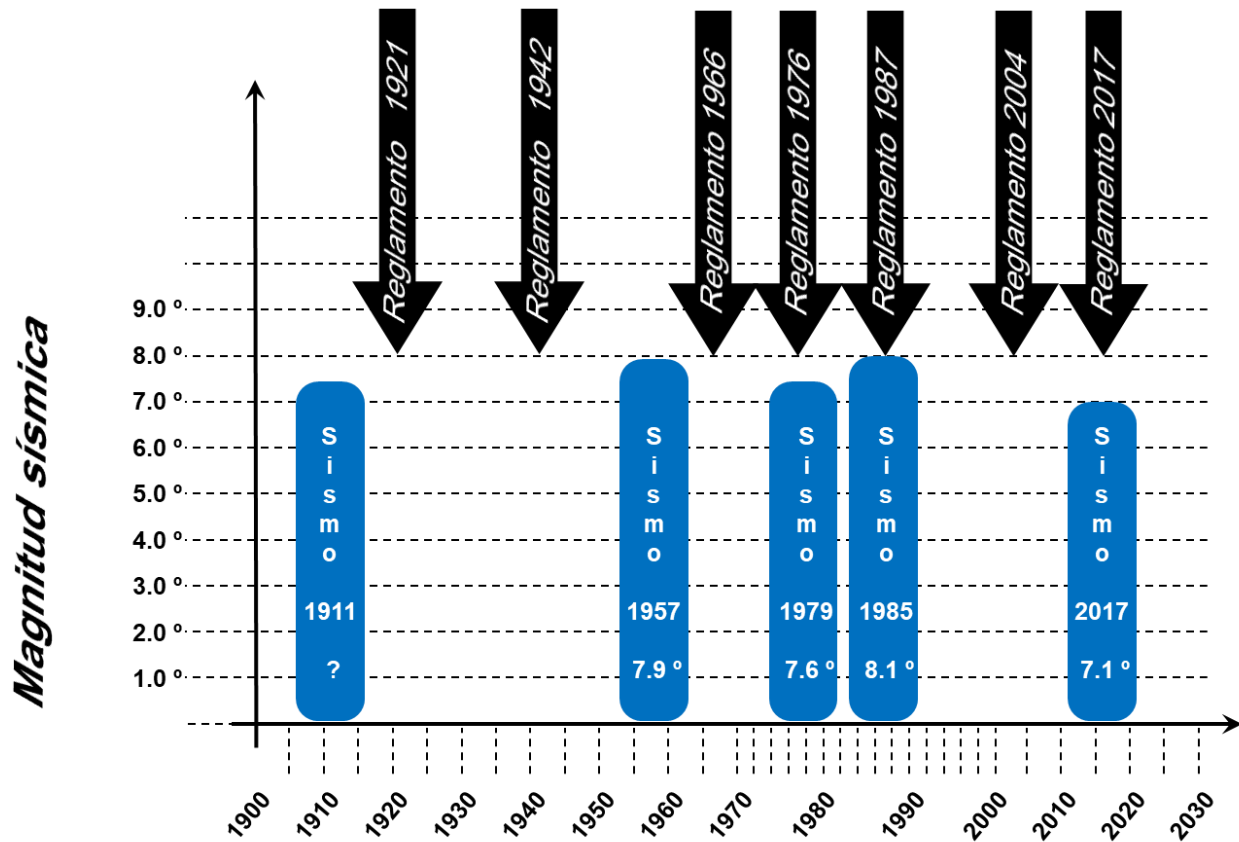


Imagen 2.3.5. Injerencia reglamentaria en función de eventos sísmicos significativos

En el diagrama 2.3.5. se pueden percibir los tiempos de ocurrencia de los fenómenos sísmicos y su respuesta normativa. El diagrama 2.3.6. representa con mayor claridad el lapso comprendido entre 1960 y el año 2020. En él se aprecian los eventos sísmicos y sus respuestas normativas, en unas ocasiones inmediatas y, en otras, como ya se comentó, con el tiempo necesario de comprensión, análisis y aplicación.

En este orden de ideas, es importante observar que los siguientes ordenamientos no responden necesariamente a un evento sísmico inmediato anterior:

- Reglamento de 1942
- Reglamento de 1976
- Reglamento de 2004
- Reglamento de 2017

Esta anotación es importante porque podría clasificar como antifrágiles exclusivamente a la siguiente normativa:

- Reglamento de 1921
- Reglamento de 1966
- Reglamento de 1987

Aunque, claro está, el hecho de que estos últimos sí hayan respondido directamente a particularidades de los eventos, no limita el que los otros ordenamientos también hubieren utilizado datos recopilados incluso con mayor precisión en un período de mayor comprensión y revisión de los sucesos.

Así, desde otro ángulo de observación, la riqueza que se logra en la revisión de la norma, sin que se den características que podrían incluso ser fortuitas, genera resultados más apegados a generalidades ofrecidas por la información globalizada.

Sin embargo, para no especular más sobre estas circunstancias, se optará por estudiar el caso de la figura denominada Tercero Acreditado, la que, parece ser, responde con mayor exactitud a la definición de antifragilidad.

Dicho análisis se presenta en el apartado 2.4.

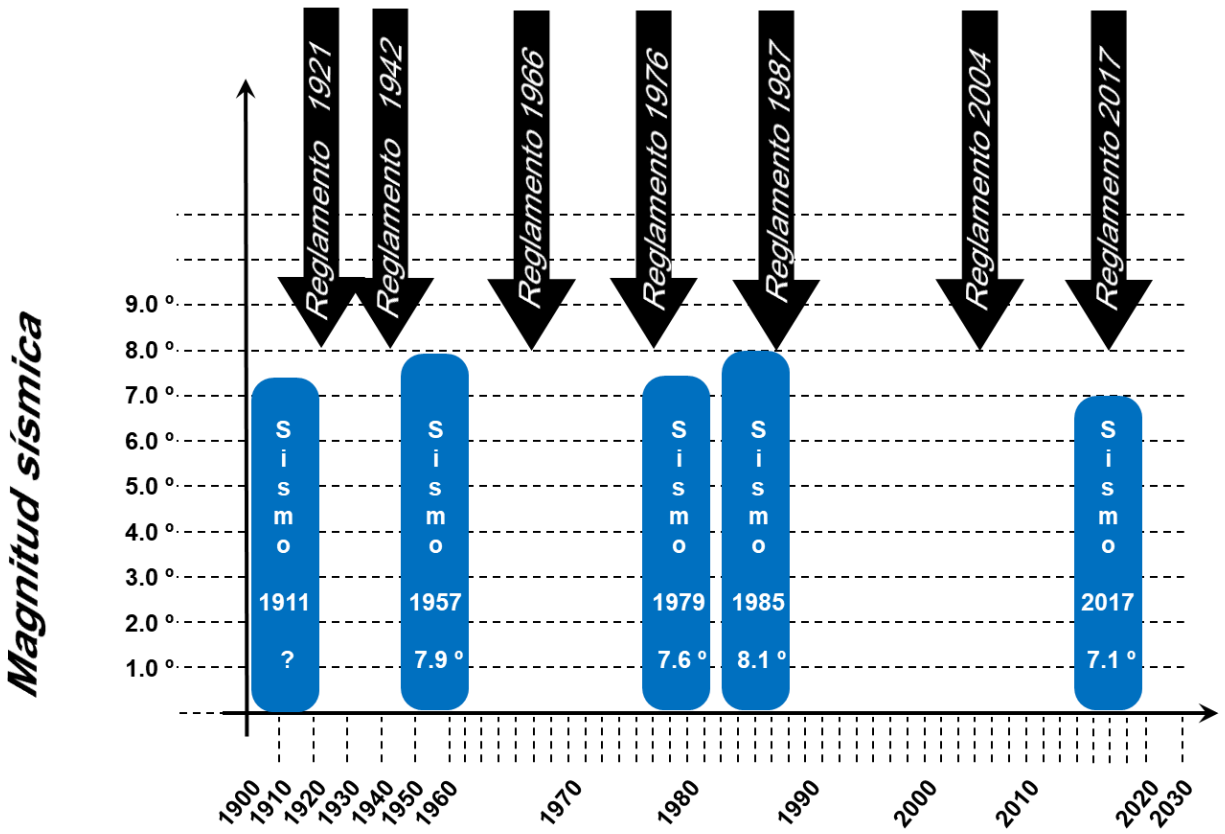


Imagen 2.3.6. Diagrama anterior (ver 2.3.5) con escala anual modificada

Ahora bien, con el objeto de generar una escala cualitativa, se procederá a enlistar, tanto los requisitos como las obligaciones presentadas, y correlacionarlas entre sí para obtener, mediante un método de estudio observacional, mediciones que conduzcan a una clara afirmación de lo registrado así como, en su caso, a establecer una proyección conductual probable que permita determinar la fortaleza del programa interno de protección civil del Instituto Tecnológico, con la posibilidad de sentar las bases para una (nueva) figura técnica especializada en la gestión de riesgos sísmicos y la antifragilidad.

Es importante destacar en este punto que la presentación de los diagramas (ver 2.3.1. a 2.3.4.) no ha sido casual, sino causal, dado que responden a un plan de percepción que coadyuva en la construcción de las aproximaciones legibles del fenómeno.

<b>Matriz de requisitos y obligaciones</b>		<b>Reglamentos</b>					
<b>Listado de requisitos</b>	1921	1942	1966	1976	1987	2004	2017
1. Ser mexicano		•	•	•			
2. Tener título de ingeniero o arquitecto		•	•	•	•	•	•
3. Tener un mínimo de 3 años de experiencia en práctica profesional		•	A	•	•	•	•
4. Estar radicado en el Distrito Federal		•					
5. Tener buena reputación		•					
6. Ser miembro activo del Colegio respectivo			•	•	•	•	•
7. Tener más de 3 años de experiencia en práctica profesional		•	B	•	•	•	•
8. Poseer Cédula Profesional de Arquitecto, Ingeniero Civil, Ingeniero Arquitecto, Ingeniero Constructor Militar, Ingeniero Municipal				A (1)	•	•	•
9. Ingenieros Mecánicos, Ingenieros Mecánico Electricistas, Ingenieros Petroleros, Ingeniero Aeronauta, Ingeniero Topógrafo, Ingeniero Químico					B (2)		
10. Acreditar dictamen en Comisión de admisión de Directores Responsables					•	•	•
11. Tener un mínimo de 5 años de experiencia en práctica profesional					•	•	•
12. Tener un mínimo de 5 años de experiencia en experiencia acreditada							1
13. Tener un mínimo de 15 años de experiencia en experiencia acreditada							2
14. Incorporación de especialista en ingeniería estructural							•
15. Incorporación de especialista en ingeniería geotécnica							•
16. Incorporación de especialista en peligro sísmico, movimientos del terreno y espectros y acelerogramas de diseño							•
<b>Listado de obligaciones</b>							
17. Responsabilidad en la obra dirigida	•	•	•	•	•	•	•
18. Responsiva y/o firma de planos y memorias de cálculo	•	•	•	•	•	•	•
19. Presentar Fianza al solicitar registro		•					
20. Actualizar y/o renovar registro	•	•	•	•	•	•	•
21. Firmar libro diario y/o bitácora de obra	•	•	•	•	•	•	•
22. Bitácora de obra foliada y encuadernada				•	•	•	•
23. Vigilar la veracidad de las notas de la Bitácora de Obra				•	•	•	•
24. Otorgar responsiva para Licencias de Construcción y/o Manifestaciones de Obra				•	•	•	•
25. Otorgar responsivas en dictámenes de estabilidad o Seguridad Estructural				•	•	•	•
26. Dirigir y vigilar la obra asegurándose de que proyecto y ejecución cumplan con las disposiciones normativas					•	•	•
27. Contar con el auxilio de corresponsables					•	•	•
28. Planear y supervisar todas las medidas de seguridad					•	•	•
29. Entregar al propietario planos actualizados					•	•	•
30. Al término, elaborar y entregar al propietario los manuales de operación y mantenimiento					•	•	•
31. Verificar compatibilidad entre cimentación y estudios de uso de suelo					•	•	•
32. Observar en la elaboración del Visto Bueno de Seguridad y Operación las previsiones contra incendio contenidas en el Reglamento y en las Normas Técnicas						•	•
33. Debe, además, acotar en los planos del proyecto ejecutivo las áreas de donación en las obras que señale la normativa aplicable.						•	•
34. Se incorpora el Instituto para la Seguridad de las Construcciones en el Distrito Federal (y su Ley) como entes normativos que observan la aplicación integral reglamentaria.							•
35. Obligaciones específicas del especialista en ingeniería estructural							•
36. Obligaciones específicas del especialista en ingeniería geotécnica							•
37. Obligaciones específicas del especialista en peligro sísmico, movimientos del terreno y espectros y acelerogramas de diseño							•
<b>Notas</b>	(1) No hay una clasificación propiamente como Grupo A, pero los profesionistas indicados pueden otorgar responsiva para cualquier tipo de obra.						
	(2) Los egresados de las carreras indicadas solamente podrán otorgar responsiva para cualquier obra relacionada con su especialidad y en obras civiles que tengan 9 m de altura como máximo y claros hasta 6 m						

Imagen 2.3.7. Matriz de requisitos y obligaciones en interacción con Reglamentos



El esquema circular de los mismos representa una síntesis ordenada y lógica de la información obtenida, con un hilo conductor o camino secuencial, donde puede apreciarse, en un solo vistazo, el acumulado de características de todos los reglamentos.

Entonces, a partir de las interacciones plasmadas en la matriz 2.3.7. se establecerá una media de los tratamientos y sus relaciones matriciales.

### 2.3.3 Robustez desarrollada a través del análisis de la norma

Tomando las recomendaciones de *Luna B. Leopold*, la propuesta de ponderación más simple se basa en un esquema binario al asignarle la unidad a cada tratamiento lleno y nulo a los vacíos (Ponce, 2008).

Otra forma de valoración, también contemplada en los métodos cualitativos, consiste en hacer un desglose más detallado de las evaluaciones otorgadas, en la inteligencia de que, aun dentro de lo empírico, proporciona una real aproximación a la lectura de las características evolutivas de lo observado.

Así, una segunda asignación establece tres calificaciones

nulo = 0	intermedio = 0.5	total = 1
----------	------------------	-----------

Podrían existir más aproximaciones-calificaciones a cada tratamiento, por lo que, al otorgárseles escalas más delimitadas, éstas corresponden a lecturas más precisas.

nulo = 0	irrelevante = 0.3	intermedio = 0.5	importante = 0.7	imprescindible = 1
----------	-------------------	------------------	------------------	--------------------

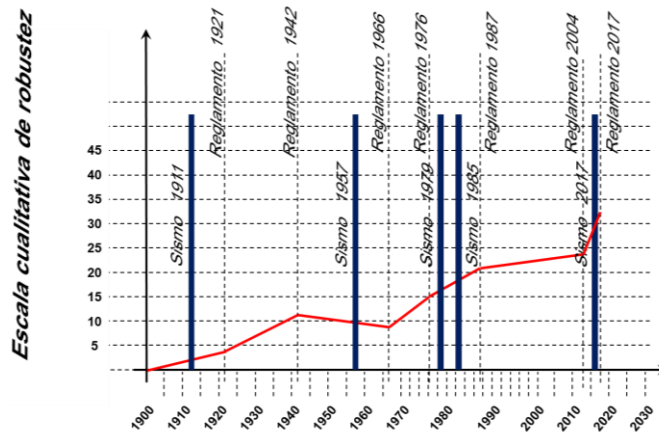
A continuación, procede la aplicación de las tres propuestas de ponderación para, de esta manera, mediante un resumen, pueda describirse una explicación evolutiva.

En esta primera matriz se realizará la ponderación más simple

Lista	21	42	66	76	87	04	17
1.		1	1	1			
2.		1	1	1	1	1	1
3.		1	1	1	1	1	1
4.		1					
5.		1					
6.			1	1	1	1	1
7.		1	1	1	1	1	1
8.				1	1	1	1
9.				1			
10.					1	1	1
11.					1	1	1
12.							1
13.							1
14.							1
15.							1
16.							1
17.	1	1	1	1	1	1	1
18.	1	1	1	1	1	1	1
19.		1					
20.	1	1	1	1	1	1	1
21.	1	1	1	1	1	1	1
22.				1	1	1	1
23.				1	1	1	1
24.				1	1	1	1
25.				1	1	1	1
26.					1	1	1
27.					1	1	1
28.					1	1	1
29.					1	1	1
30.					1	1	1
31.					1	1	1
32.						1	1
33.						1	1
34.							1
35.							1
36.							1
37.							1
Suma	4	11	9	15	21	23	32

Así, como se explicó más arriba, se le asignó el valor de 1 a cada tratamiento lleno y 0 (cero) a los nulos.

Los resultados aparecen al final de la matriz, mismos que se han vaciado en el diagrama 2.3.3.1.



2.3.3.1 Diagrama 1 evolutivo de la robustez

Los estresores, esto es: los sismos citados a lo largo del presente numeral, han jugado un papel fundamental en las revisiones normativas posteriores a cada evento.

En el reglamento del año 1966 se aprecia una aparente debilidad. La lectura antifragil podría ser que, el sismo de 1957 no generó la suficiente información para robustecer la norma. Situación que se resolvió en el ordenamiento de 1976.

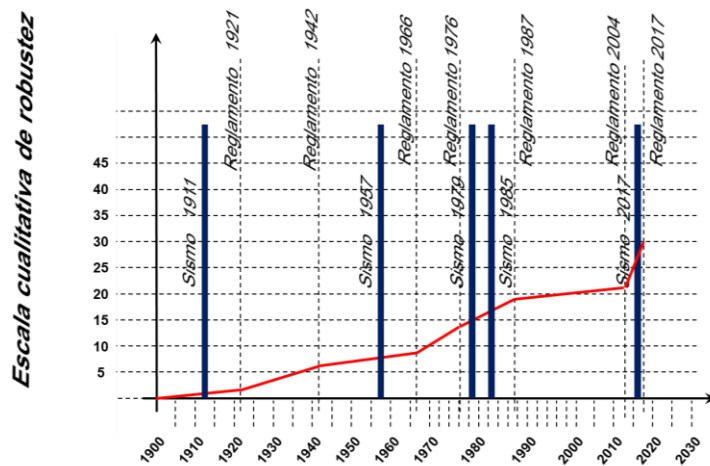
Las otras regulaciones sí responden adecuadamente al comportamiento producido por la antifragilidad y generan más refuerzo o robustez en sus exigencias.

La siguiente matriz corresponde a la segunda ponderación.

Lista	21	42	66	76	87	04	17
1.		.5	.5	.5			
2.		.5	1	1	1	1	1
3.		.5	1	1	1	1	1
4.		.5					
5.		.5					
6.			1	1	1	1	1
7.		.5	1	1	1	1	1
8.				1	1	1	1
9.				1			
10.					1	1	1
11.					1	1	1
12.							1
13.							1
14.							1
15.							1
16.							1
17.	.5	.5	1	1	1	1	1
18.	.5	.5	1	1	1	1	1
19.		.5					
20.	.5	.5	1	1	1	1	1
21.	.5	.5	1	1	1	1	1
22.				1	1	1	1
23.				.5	.5	.5	.5
24.				1	1	1	1
25.				1	1	1	1
26.					1	1	1
27.					.5	.5	.5
28.					1	1	1
29.					.5	.5	.5
30.					.5	.5	.5
31.					1	1	1
32.						1	1
33.						1	1
34.							1
35.							1
36.							1
37.							1
Suma	2	6	9	14	19	21	30

En este caso, se asignaron valores de 0.5 (medio punto) a aquellos tratamientos a los que se les consideró una calificación precisamente intermedia.

Los resultados aparecen en el diagrama 2.3.3.2.



2.3.3.2 Diagrama 2 evolutivo de la robustez

Nótese que, al acotar la calificación de los tratamientos, hay una ligera modificación del diagrama 2.3.3.2., en comparación con el anterior (2.3.3.1.); se sigue manteniendo una clara tendencia evolutiva.

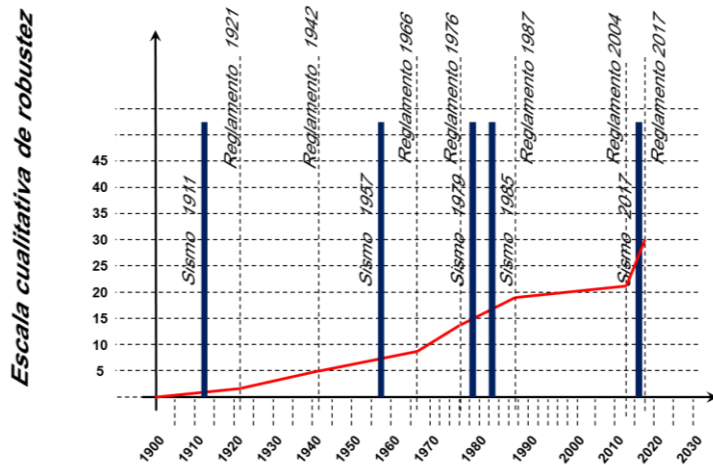
En esta interpretación, que se presupone sea más precisa, el comportamiento de todos los reglamentos guarda características antifrágiles, al verse reforzados en sus exigencias, después de ocurridos los estresores, ya sea en la inmediatez o no, como se observa en el caso de los instrumentos normativos de 1966 y 1976.

La tercera matriz corresponde a la última ponderación propuesta.

Lista	21	42	66	76	87	04	17
1.		.3	.3	.3			
2.		.7	1	1	1	1	1
3.		.5	1	1	1	1	1
4.		.5					
5.		.3					
6.			1	1	1	1	1
7.		.5	1	1	1	1	1
8.				1	1	1	1
9.				1			
10.					1	1	1
11.					1	1	1
12.							1
13.							1
14.							1
15.							1
16.							1
17.	.5	.5	1	1	1	1	1
18.	.5	.5	1	1	1	1	1
19.		.5					
20.	.5	.5	1	1	1	1	1
21.	.5	.5	1	1	1	1	1
22.				1	1	1	1
23.				.5	.5	.5	.5
24.				1	1	1	1
25.				1	1	1	1
26.					1	1	1
27.					.5	.5	.5
28.					1	1	1
29.					.5	.5	.5
30.					.5	.5	.5
31.					1	1	1
32.						1	1
33.						1	1
34.							1
35.							1
36.							1
37.							1
Suma	2	5	8	14	19	21	30

En este caso, en función de la real importancia que se manifiesta en cada tratamiento, se asignaron los valores: nulo =0, irrelevante =0.3, intermedio =0.5, importante =0.7, imprescindible=1

Los resultados aparecen en el diagrama 2.3.3.3.



2.3.3.3 Diagrama 3 evolutivo de la robustez

Es importante destacar que las ponderaciones han sido modeladas por el autor de la investigación con base en la experiencia profesional adquirida a lo largo de más de cuarenta años de ejercicio en materia de análisis y diseño estructural, así como en el ámbito de construcción y revisión en todo el proceso de obra.

Entonces, tomando como referente el diagrama evolutivo 2.3.3.3. puede concluirse que, en efecto, las respuestas regulatorias de las construcciones en la Ciudad de México observan comportamientos antifrágiles, en tanto que se han robustecido después de los últimos sismos medidos más representativos, con magnitud superior a los 7°.

Podría también anotarse que, después del terremoto de 1985, la Ciudad de México ha experimentado una de las máximas experiencias de carácter antifrágil, pues, en un principio, se dio la delimitación de alturas en los edificios emplazados en suelos lacustres, pero, con el transcurrir del tiempo y, sobre todo, con la experiencia adquirida, ocurrió, no solamente un reforzamiento en la reglamentación, sino también en los propios edificios altos, al mostrar un cúmulo de alternativas resolutivas en la mitigación de los movimientos horizontales provocados por los temblores y el viento.

Es por lo anterior que, en los eventos provocados por los sismos de 2017, los daños a la infraestructura urbana fueron bastante menores.

## 2.4 OTROS APUNTES NORMATIVOS



Imagen 2.4.1. Edificio "Hoja de Lata" (Villasana & Gómez, 2019).

La imagen 2.4.1. es fiel representativa de varias características de principios del siglo XX. El tipo de arquitectura que se construía, podría decirse que era de poca altura. La ciudad tendía hacia la horizontalidad. De 1911 y hasta los años 30 existió un edificio, conocido como el "Hoja de Lata", que con siete pisos de altura se convirtió en el primer rascacielos capitalino. Estuvo ubicado en las antiguas calles de San Juan de Letrán esquina con Nuevo México, hoy Eje Central y Artículo 123 (Villasana & Gómez, 2019).

En 1934 surge el edificio de La Nacional, cuyo diseño estructural, como se comentó en la imagen 2.1.7. fue realizado por los hermanos Bernardo y José Luis Calderón. A partir de entonces se da una competencia por ganar las alturas. Véanse en la imagen 2.4.2. los edificios que han ido teniendo los récords de altura en la ciudad.





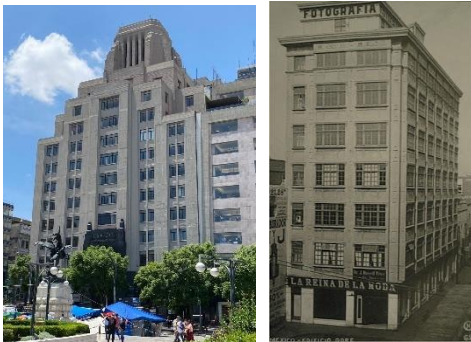
Metros		Nombre	Año
267.3		Nueva Torre <i>Mitikah</i>	2021
246		Torre Reforma	2016
234.9		Torre BBVA Bancomer	2015
225		Torre Mayor	2003
214		Torre Pemex	1982
207		<i>World Trade Center</i>	1994
182		Torre Latinoamericana	1956
55		Edificio La Nacional	1934
40 ?		Edificio Gore "Hoja de Lata"	1911

Imagen 2.4.2. Edificios altos en la Ciudad de México que, en su momento, poseyeron récord de altura.

Esta manera de hacer arquitectura en una zona de alta peligrosidad sísmica, ha generado la necesidad de esquemas normativos que coadyuven al buen desempeño ciudadano.

Por eso, aparte de las figuras técnicas ya analizadas en el numeral 2.3., la Ley de Protección Civil establece la necesidad de que participe el Tercero Acreditado. La Ley Orgánica de la Administración Pública y el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) determinan los alcances de su participación.

Para contar con el registro de Tercero Acreditado, que permita brindar servicios de capacitación, realizar estudios de riesgo-vulnerabilidad y proporcionar servicios de consultoría y asesoría en materia de protección civil, las personas físicas o morales deben realizar los trámites establecidos en el organismo designado del Gobierno de la Ciudad. (Gobierno de la Ciudad de México, 2021) <sup>6</sup>

En el Anexo 1 se abunda en todo lo referente al Tercero Acreditado.

---

<sup>6</sup> Ley del Sistema de Protección Civil del Distrito Federal Artículos 16 fracciones XXIV y XXV, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180 y 181.

Ley Orgánica de la Administración Pública del Distrito Federal Artículo 23 Bis fracción XI.

Reglamento Interior de la Administración Pública del Distrito Federal Artículo 119 Bis fracción VII.

Solo se recibirán comprobantes cuyo domicilio se encuentre dentro de la CdMx. (Gobierno de la Ciudad de México, 2021)





### 3 ANTIFRAGILIDAD Y ARQUITECTURA

En este punto del análisis, ya es posible establecer la incursión conceptual de lo antifrágil en el campo de la teoría de la arquitectura, con un enfoque convergente, en cuanto a la intervención de diferentes actores partícipes en el proceso proyectual.

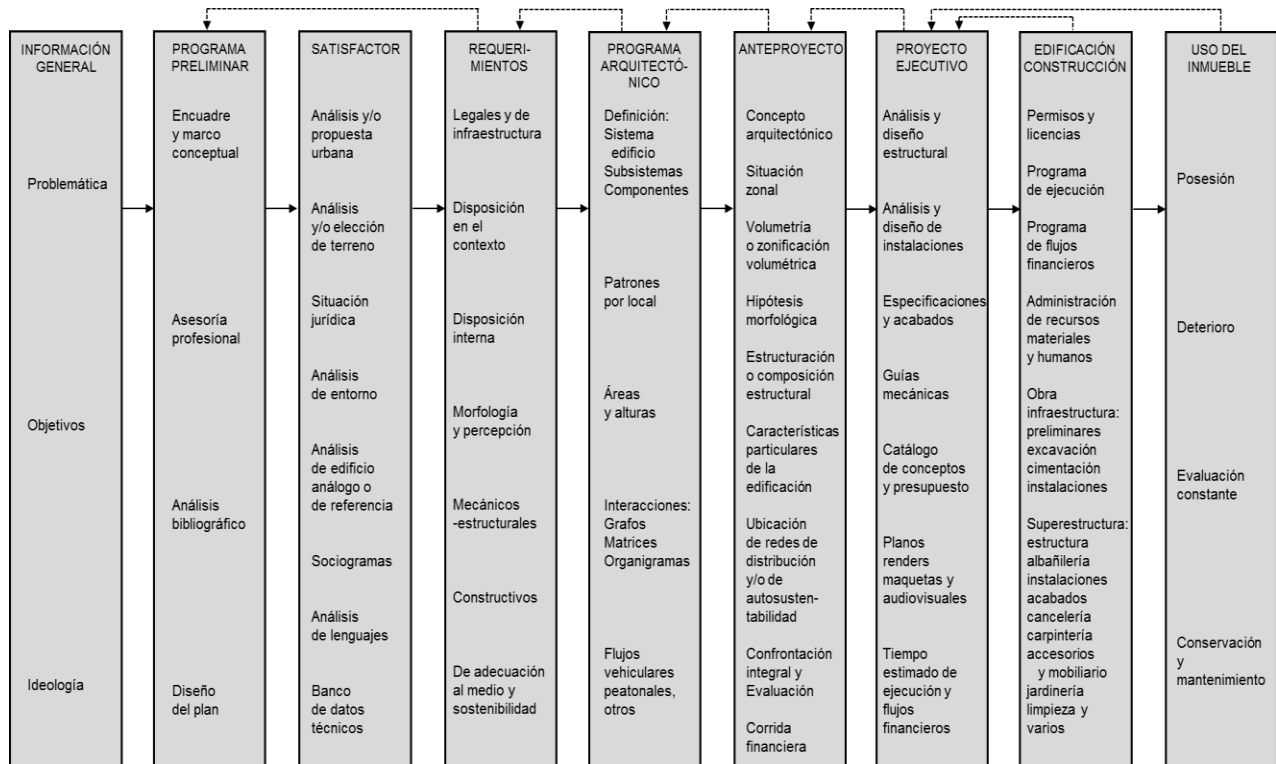


Imagen 3.1.1. Flujo del proceso arquitectónico (González Tejeda, Guía arquitectónica, 1993, pág. 37)

El encuadre indicado puede establecerse a partir del flujo procesual expuesto en la imagen 3.1.1., donde se ven involucradas áreas de conocimiento que se requieren en el objeto de diseño. Dichos campos se pueden traducir en profesiones coadyuvantes diversas, en función de la magnitud y dificultad de la problemática a resolver.

El inicio propuesto del proceso consiste en analizar la problemática encontrada, siempre manifestando una postura ideológica, pues los objetivos de solución determinan el marco teórico con que se diseñará el plan de acción, en función, a su vez, tanto de los apoyos

bibliográficos, como de la búsqueda de asesoría profesional. Con énfasis en la idea de convergencia o entrelazado de conocimiento, el concepto de asesor, puede convertirse en el de colaborador y/o participante indispensable.

El resultado de estas primeros análisis e interacciones cognoscitivas, se convierte en el satisfactor urbano arquitectónico, con ciertas características técnicas, mismo que, al pasar el tamiz de los requerimientos normativos y de toda índole, se puede establecer como programa arquitectónico, con sus componentes e interconexiones espaciales.

En el anteproyecto se debe manifestar ya, explícitamente, la convergencia formal, técnica y financiera que da pie, mediante la ejecución de catálogos, guías mecánicas y detalles técnicos, al proyecto ejecutivo.

El proceso constructivo que, una vez finalizado, permite el uso del inmueble, conforma la última etapa del flujo (ver imagen 3.1.1.), el que se ha detallado en este punto, con el objeto de poder referirlo más adelante.

La sociedad asiste a un espacio-tiempo en el que coinciden varias formas de amenazas o estresores que manifiestan, de una forma o de otra, las posibles vulnerabilidades del arquitecto. Éstas se presentan de muy diversas maneras, desde las dificultades iniciales en cuanto a la contratación de estudios preliminares, hasta las que se van dando en la relación cliente-arquitecto, sea el contratante una persona física o una empresa de cualquier índole: privada o pública. En el apartado 3.1.3. se presenta una escala de medición de los fenómenos y sus respectivas propiedades.

### **3.1 EL PROFESIONAL DE LA ARQUITECTURA EN EL SIGLO XXI**

“La arquitectura es una disciplina de servicio que demanda una formación vasta en temas humanísticos, científicos, tecnológicos y estéticos. Requiere a la vez, una visión holística que permita desarrollar el proceso del quehacer arquitectónico, centrado en la planeación, el diseño y la materialización de edificios útiles al hombre y la sociedad, desde un enfoque sistémico” (UNAM. Facultad de Arquitectura, 2017, pág. 47).

De acuerdo al deslinde establecido, referente a la gestión de riesgos de carácter sísmico, se prestará mayor atención, en principio, al análisis y retroalimentación producido en las interacciones de la forma arquitectónica con los componentes mecánico estructurales.

Esto vincula a dos especialistas: el arquitecto diseñador y el profesional dedicado a la obtención de los elementos estructurales que soportan el objeto arquitectónico. Esta última actividad ha sido desarrollada durante los últimos años por despachos de ingenieros civiles, aunque también hay firmas conformadas por arquitectos.

Para evitar confusiones, se entenderá que el profesional de la arquitectura es quien se hará cargo del diseño del objeto proyectual.

El siglo XXI ha irrumpido en el mundo global con características que tienden a marcar igualdades y diferencias en los entes encargados de generar el espacio público. Las sociedades latinoamericanas no están exentas de esta característica. Incluso en estas últimas se han establecido crecimientos urbanos dispares, acordes a un dinamismo afín, producido por cambios de forma en la gobernanza, unas veces abruptos, otras, con ritmos moderados. Todos los profesionales se ven afectados en estos desbordes de energía y emprendimiento. El arquitecto atraviesa por una crisis, principalmente de credibilidad, en

cuanto a su verdadera utilidad en los procesos de gestión y creación de los componentes de las ciudades, en los objetos espacio volumétricos que las conforman.

Muchos son los ejemplos de lo planteado: estudios y proyectos realizados por personal no capacitado; constructores con los mínimos conocimientos en el campo; técnicas constructivas en cuanto a instalaciones realizadas con mínima normatividad; soluciones estructurales ante situaciones de desastre sin la observancia requerida.

Ahora bien, algunas veces son los propios profesionales de la arquitectura quienes provocan tales situaciones.

En este sentido, el autor de esta investigación considera que es necesario marcar posiciones ideológicas, pues con esto se establecen los hilos conductores y los nodos conectores de los eventos que puedan marcar la evolución del entorno.

### **3.1.1 Riesgo psicosocial en el profesional de la arquitectura**

La deriva<sup>7</sup>, aproximación de *Guy Debord*, al azar antifrágil, establece (desde este punto de vista) que “existe en las ciudades un relieve psicogeográfico<sup>8</sup>, con corrientes constantes, puntos fijos y remolinos que hacen difícil el acceso o la salida de ciertas zonas” (Debord, 1999).

En noviembre de 2019, en un conversatorio efectuado en la UNAM, en la Facultad de Arquitectura, *Neelkanth Chhaya*, arquitecto hindú, y Alberto Betancourt Posada, doctor

---

<sup>7</sup> El concepto ‘deriva’ utilizado por *Guy Debord* en este texto es totalmente independiente y diferente del utilizado en el análisis estructural como la distancia de desplazamiento entre los niveles de una edificación.

<sup>8</sup> Este término supone el estudio de los efectos y las formas del ambiente geográfico en las emociones y el comportamiento de las personas, y fue acuñado por el filósofo, escritor y cineasta *Guy Debord* a finales de los años 50. La psicogeografía estudia las repercusiones que se dan en las personas según la posición espacial que tengan estas con otras personas o con su entorno.

en historia por la Facultad de Filosofía de la propia UNAM, expusieron ampliamente sobre la relación del neoliberalismo ideológico y psicogeográfico, misma que, casi de manera inminente conduce a una psicodpresión ( Betancourt Posada & Chhaya, 2019).

Sin abundar demasiado en esta temática, sí es importante decir que el neoliberalismo ha desatado una moderna guerra de castas como la que se dio en el virreinato, de tal forma que existe un modernismo disfrazado de capitalismo salvaje.

Según las palabras de Betancourt en dicho evento, se creó un México muy dividido entre el norte y centro manufacturero (conservador) y un sur agrícola (liberal). Por extensión, utilizando dichos conceptos, si bien es cierto que la arquitectura debe satisfacer los requerimientos sociales, podría decirse que en México hay profesionales de la arquitectura que, por un lado, atienden las demandas del grupo conservador (con poder adquisitivo) y, por el otro, las de la llamada producción social del hábitat, tendientes a la participación integral y multidisciplinar en zonas marginales (grupo liberal).

Existen estas dos posiciones radicales con sus respectivas características psicosociales. De donde podría establecerse un enorme listado de sociedades pertenecientes a una no tan claramente definida clase media.

Para el tema en cuestión, parece ser que, en toda la escala socioeconómica, la figura del arquitecto, al carecer de requerimiento laboral, se ha convertido en artículo superfluo; por lo que dicha situación se convierte en un riesgo psicosocial en detrimento de la contratación de los profesionales de la arquitectura.

Este otro interesante nicho en la interacción de la arquitectura con la antifragilidad, se abordará en el apartado 3.1.3.

### 3.1.2 Neoliberalismo y psicogeografía

El llamado neoliberalismo podría definirse como "el conjunto de ideas políticas y económicas capitalistas que define la no participación del Estado en la economía, dejando por fuera cualquier injerencia gubernamental, fomentando así la producción privada con capital único sin subsidio del gobierno" (Manjarrez Carrillo, 2017).

En el conversatorio de *Chhaya* y Betancourt se generó un detonante en torno al análisis inminente de lo psicogeográfico ( Betancourt Posada & Chhaya, 2019).

Las ideas dispersas que merodeaban el entorno fueron tomando forma y contundencia para poder realizar una crítica contundente del neoliberalismo latinoamericano, "práctica reaccionaria, basada en un pensamiento conservador y un modelo de acumulación de capital que se reproduce a fines del siglo XX y principios del XXI" (Katz, Neoliberales en América Latina I., 2014).

En América Latina el neoliberalismo tiene características sui generis. Mientras que en algunas Repúblicas comenzó antes de lo expuesto en el párrafo anterior, justo es en dichas regiones donde ha enfrentado mayores resistencias.

Hubo una etapa inicial de ajuste y otra posterior de privatizaciones durante las dictaduras, en su caso, y las transiciones posteriores. La aplicación del esquema neoclásico del siglo XIX acentuó los desequilibrios financieros, cambiarios y productivos tradicionales y repitió los "salvamentos" estatales a los capitalistas a costa del erario o hacienda pública.

El neoliberalismo hereda viejas teorías de inferioridad de los nativos, atraso cultural hispanoamericano y supremacía del occidente judeocristiano. Retoma mitos positivistas de la modernización basados en una copia del capitalismo avanzado. Se pone en contra

de la injerencia estatal, ocultando los beneficios que obtienen los inversionistas y no explica la continuidad de esa intervención al cabo de tantos gobiernos pro-mercado. Es absurda su presentación de la informalidad laboral como una resurrección de la competencia empresaria.

Es sabido que esta modalidad reaccionaria fue introducida en la región con cierta antelación. Las dictaduras del Cono Sur americano anticiparon en los años 70 la oleada derechista, que posteriormente se afianzó en el grueso del planeta. Pero Latinoamérica ha sido también el epicentro de grandes resistencias populares, que propinaron significativas derrotas a esa propuesta conservadora. Una revisión de la trayectoria e ideología del neoliberalismo permite explicar muchas especificidades de la región.

La posibilidad de que se afianzara casi en todo el continente fue propiciada por la implosión de la todavía URSS y la crisis del horizonte socialista. Las tendencias conservadoras obtuvieron un impulso adicional con la anexión de Alemania Oriental, el amoldamiento de la Unión Europea a la globalización y la demolición del Estado de bienestar.<sup>9</sup>

En los últimos años, este modelo profundizó los atropellos contra los trabajadores en contextos recesivos que potencian el temor a la miseria. La desigualdad social alcanzó niveles sin precedentes, la pobreza se expandió en las economías centrales y la precarización laboral se masificó en todo el planeta.

---

<sup>9</sup> Ver balance en: Anderson, Perry. «Balance del neoliberalismo: lecciones para la izquierda». El Rodaballo n 3, verano 1995- 1996, Buenos Aires. Anderson Perry, "Neoliberalismo: un balance provisorio", en La trama del neoliberalismo. Mercado, crisis y exclusión social, CLACSO, Buenos Aires, Argentina. 2003. Anderson, Perry. The New Old World, Verso, Londres, 2009, (pag 47- 79).



El neoliberalismo converge con la internacionalización de la economía. La fragmentación mundial de los procesos de fabricación, el desplazamiento de la industria hacia al Oriente consolidan la primacía de las empresas transnacionales. Las grandes firmas utilizan las normas del libre-comercio y los bajos aranceles para desenvolver intercambios entre sus filiales. Estos movimientos apuntalan, además, la globalización financiera y el vertiginoso flujo de capitales entre los distintos países (Katz, Neoliberales en América Latina I., 2014).

Al cabo de por lo menos tres décadas de reorganización capitalista se han creado nuevas contradicciones en múltiples esferas. El neoliberalismo contrajo los ingresos populares, afectó la capacidad de consumo, incrementó la sobreproducción de mercancías y agravó varias modalidades de sobre-acumulación de capital. Acentuó, además, un deterioro del medio ambiente que amenaza desatar inéditos desastres ecológicos. De aquí la importancia de su entendimiento en el contexto de la gestión de riesgos.

En el plano geopolítico este curso ha precipitado un rediseño de fronteras que contrasta con el congelado mapa de la guerra fría. Puede decirse que va transitando por fases diferenciadas de bipolaridad, unipolaridad y multipolaridad en las relaciones que mantienen las grandes potencias. Pero todos los conflictos entre las clases dominantes se procesan en un nuevo marco de negocios globalizados, casi siempre para beneficio de los empresarios más poderosos, aunque pertenezcan a países no desarrollados.

El neoliberalismo perdura por el retroceso que impuso a los trabajadores. Se sostiene en el cansancio político que genera la alternancia de conservadores y socialdemócratas en la administración del mismo modelo. Todo indica que la reversión de esta etapa exigirá grandes victorias populares impuestas desde abajo (Katz, 2014, págs. 47-79).

Betancourt comentó que el tratado (de libre comercio) anterior creó un México muy dividido entre el norte y centro manufactureros y un sur eminentemente agrícola, en donde es muy difícil acceder a la felicidad obligatoria, como parte del discurso neoliberal que hace creer que uno es el único culpable de sus propios problemas.

A partir de mayo de 2020 y hasta un año después, ante la crisis mundial de una de las pandemias más importantes que se han dado en el planeta, ha quedado al descubierto la incapacidad real del modelo neoliberal.

Es un buen momento, entonces, para reafirmar que la propuesta de la antifragilidad, bien podrá subsanar tales defectos para que coadyuve en la construcción, no nada más de la gestión de riesgos antisísmicos, sino en la de una nueva cultura de la edificación que responda a las nuevas inquietudes surgidas en esta crisis-crítica al orden mundial.

En una entrevista realizada al escritor Eduardo Galeano, éste comentó que “el aire está limpio de todo veneno que no provenga de los miedos humanos” (Galeano, 2020).

Entonces, se puede regresar a citar a Taleb en el entendido de que “en lugar de hablar del riesgo (que es algo predictivo y cobárdico) es necesario abogar por el uso de la noción de fragilidad, que no es predictiva y que, a diferencia del riesgo, tiene una palabra muy interesante que describe su opuesto funcional, el concepto nada cobarde de la antifragilidad” (Taleb, 2019, pág. 32).

Palabras y conceptos sólidos que contribuyen al marco epistemológico del contenido de la investigación.

### **3.1.3 Antifragilidad y proceso arquitectónico**

A partir de que el concepto antifrágil devela el imperioso requerimiento de la interacción, se hace necesario inducir el debate (si es posible, conducirlo) hacia un cambio, que bien podría darse a través del estudio de las propiedades de antifragilidad. En los capítulos anteriores y en los subsecuentes, se demuestra que la antifragilidad participa, tanto en los cambios de las políticas públicas, como en la historia de los reglamentos

En el presente apartado se abordan los procedimientos sociales de interacción, así como los aspectos técnicos, propiamente dichos, en la metodología arquitectónica.

Existen varios tiempos en los que puede quedar inmerso el término de lo antifrágil; aquí se expondrán dos: uno, al considerar la actual crisis de credibilidad como un riesgo o estresor que ha alterado la profesión y, otro, durante la gestación proyectual, sobre las afectaciones de los temblores, en lo que se ha dado en llamar el diseño sismorresistente.

El primero se abordará a continuación. El segundo, en el siguiente apartado.

Ante todo posicionamiento de verdad, es imprescindible manifestar la humildad de la duda, que no necesariamente del cuestionamiento. Se requiere enfatizar que toda interpretación es producto de ciertos enfoques inducidos que, por lo general, ya han sido experimentados por otros. El tema vital debe centrarse en la propuesta propia, entendida ésta como la capacidad de manipulación informativa en un momento determinado de la vida, a sabiendas de que se forma parte de entes evolutivos y cambiantes en tendencia preferentemente a la depuración del conocimiento.

El ejercicio profesional prácticamente de cualquier carrera u oficio se determina, en principio, por la preparación académica que se haya podido acumular, así como por la

adquisición de conocimientos sobre temáticas específicas, ya sea por inclinaciones propias o por las exigencias del contexto laboral al que se pertenezca o se haya pertenecido.

Las universidades otorgan un enorme abanico de posibilidades con limitantes en cuanto al alcance de las mismas. Por eso, cada egresado podrá abundar en aquella especialidad con la que, en un momento dado, se sienta identificado.

El autor de este trabajo, por ejemplo, ha incursionado en trabajos que inciden, de una u otra forma, en el campo de la edificación y el proyecto arquitectónicos; principalmente en aspectos vinculados con la mecánica de materiales, su construcción y su morfología.

Todo esto ha generado en el suscrito una estructura de pensamiento que lo obliga a no posicionarse en paradigmas absolutos. Prácticamente todo puede entrar en el campo de la construcción de modelos; de ahí que se generen perspectivas diversas desde donde las apreciaciones aun son relativas.

El rigor científico conduce a mantener una disciplina metodológica prácticamente en todas las actividades mundanas.

Es muy importante comprender la magnitud del campo o área de oportunidad de la interacción que sostienen la antifragilidad y la arquitectura, lo que, sin duda, podrá generar caminos hacia nuevas y necesarias investigaciones.

Con el objeto de contribuir a la cultura de la prevención ante fenómenos de perturbación, podrían proponerse, dentro del proceso arquitectónico, las mejores ubicaciones de lo antifrágil, principalmente en los flujos de retroalimentación. En la imagen 3.1.3., que, a su vez, proviene de la 3.1.1., podrá observarse la posibilidad de los regresos fortalecidos.

Como se ha expuesto, para evitar observar la problemática de la tesis desde el punto de vista de los fenómenos complejos, se ha optado por utilizar, de esta disciplina, básicamente el concepto de la convergencia.

A continuación, entonces, se proponen una serie de interconexiones dentro del proceso de diseño, que pueden permitir la presencia de grupos de profesionales coadyuvantes en torno a un fin común, mismo que, durante su desarrollo, podría modificar su centralismo, para generar brazos o extensiones hacia otras áreas de oportunidad, quizás inexistentes. En ese caso, si es que llega a darse, será inevitable dar respuestas, ahora sí, complejas.

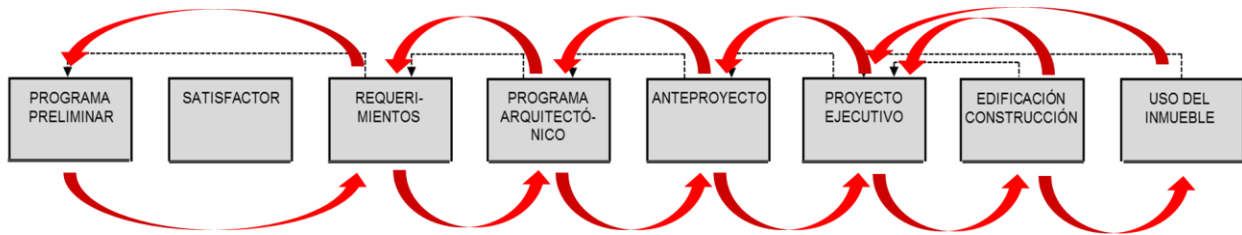


Imagen 3.1.3. Flujos con posibilidad de retroalimentaciones antifrágiles

Es muy probable que, en muchas ocasiones y, tal vez sin darse cuenta, la práctica arquitectónica haya utilizado el concepto de antifragilidad, en las revisiones profesionales de los procesos, sean éstas unipersonales o interdisciplinarias.

Es decir, se propone una proyección libre del esquema de riesgo, otorgando la calidad de amenaza a todo evento que intervenga de forma negativa en la interacción laboral y, de vulnerabilidad, a la falta de respuesta profesional (por impreparación) adecuada. De ahí que puedan abrirse vastas interconexiones entre arquitectura y antifragilidad.

### **3.1.3.1 Acciones posibles en cada microflujo**

3.1.3.1.1 **Programa preliminar – requerimientos.** Revisión y, en su caso, reforzamiento en: encuadre y marco conceptual, asesoría profesional y diseño del plan.

3.1.3.1.2 **Requerimientos – programa arquitectónico.** Revisión y, en su caso, reforzamiento en todo el listado de requerimientos.

3.1.3.1.3 **Programa arquitectónico – anteproyecto.** Revisión y, en su caso, reforzamiento en: definición del sistema arquitectónico y las características espaciales de los subsistemas y sus interacciones.

3.1.3.1.4 **Anteproyecto – proyecto ejecutivo.** Revisión y, en su caso, reforzamiento en: concepto arquitectónico, zonificación zonal y prefiguración técnica y espacial.

3.1.3.1.5 **Proyecto ejecutivo – construcción.** Revisión y, en su caso, reforzamiento en: análisis y diseño de guías mecánicas, especificaciones y todo tipo de cronogramas.

3.1.3.1.6 **Construcción – uso y ocupación del inmueble.** Revisión y, en su caso, reforzamiento en: reelaboración de proyecto ejecutivo.

3.1.3.2 **Factores de ponderación.** Para saber si en estos procesos intervienen conceptos de antifragilidad, se proponen elementos de valoración y medición. Se cumplirá con propiedad de antifrágil, siempre que, el origen de la revisión, sea ejercido por un estresor y, el resultado produzca un reforzamiento del sistema.

3.1.3.2.1 **Estresor o perturbador.** A partir de la definición de amenaza (ver 1.5.2.), los estresores o fenómenos de perturbación son eventos físicos y/o actividades humanas, potencialmente perjudicables, que pueden causar daños de todo tipo (ONU. EIRD. Las Américas, 2004) que se determinan en función de la intensidad y la frecuencia.

Intensidad de Fenómeno perturbador de origen físico	Sismo
Sismo con afectación de elementos estructurales.	
Sismo con afectación de elementos arquitectónicos no estructurales.	
Sismo con afectación y/o caída de objetos no arquitectónicos.	
Sismo con movimientos sensibles en todo el colectivo social.	
Sismo con movimientos imperceptibles en el colectivo social.	

3.1.3.2.2 **Estresor psicosocial.** La Norma Oficial Mexicana NOM-035.STPS-2018, establece que los factores de riesgo psicosocial son aquellos que pueden provocar trastornos de ansiedad, no orgánicos del ciclo sueño-vigilia y de estrés grave (DOF, 2018). El estrés es una respuesta fisiológica, psicológica y conductual desarrollada para afrontar e incorporar demandas o situaciones diversas encontradas en la cotidianidad. Es una causa de tensión y exigencia; los estresores psicosociales están relacionados con la presentación de recurrencias y el no cumplimiento de metas (Vargas, Latorre & Parra, 2015); así como con la calidad de las relaciones laborales interpersonales. Para los fines de esta investigación, este fenómeno también se refuerza cuantitativamente con la intensidad y frecuencia.

Intensidad de Estresor psicosocial con base a cumplimiento de metas
Depresión manifiesta y/o no cumplimiento constante de metas.
Ansiedad manifiesta y/o no cumplimiento esporádico de metas.
Ansiedad debida a respuestas mediatas en cuanto al cumplimiento de metas.
Desesperanza y/o desmotivación por cumplir las metas.
Falta de energía generalizada en torno al cumplimiento de las metas.

3.1.3.2.3 **Intensidad.** Cada disruptor o fenómeno de perturbación determina sus propias magnitudes o valores de intensidad, con base a las fuentes de estrés y sus características, las que, en este caso, son:

- a. Cambio o novedad de la situación. A menor experiencia, mayor intensidad.
- b. Incertidumbre o falta de predictibilidad. A menor previsión, mayor intensidad.
- c. Escasez de recursos. A mayor carencia, mayor intensidad.

Intensidad de Estresor psicosocial con base a relaciones laborales interpersonales
Depresión manifiesta y/o situaciones laborales constantes de carácter tóxico.
Ansiedad debida a situaciones laborales esporádicas de carácter tóxico.
Desesperanza y falta de energía por incomprensión con el personal de trabajo.

3.1.3.2.4 **Origen del cambio o revisión.** En el caso de evento sísmico, ya sea por falla de elementos arquitectónicos o por solicitud de usuarios (o del cliente). Pero también puede iniciarse una revisión por otras causas, ya sea como parte del proceso proyectual, por revisión rutinaria y/o por incertidumbre de resultados, entre otras. La escala de ponderación deberá responder a cada situación.

Origen del cambio o de la revisión
Falla estructural y/o de elemento arquitectónico de otra índole
Solicitud reiterada del usuario o cliente
Incertidumbre
Solicitud del usuario o cliente
Revisión rutinaria (sin mandato por afectación)
Parte del proceso proyectual

3.1.3.2.5 **Frecuencia.** La recurrencia o el número de veces que se solicitan cambios o revisiones, genera la calidad del estresor. A mayor frecuencia, será mayor la escala de ponderación.



Frecuencia de modificaciones producidas por cambios y/o revisiones
Siempre
Casi siempre
Esporádicamente
Casi nunca
Nunca

3.1.3.2.6 **Calidad de los retornos.** Podrá medirse la escala de reforzamiento, en función de la reutilización del ente y la reparación, en su caso, y de la adquisición de mayor resistencia, mediante cualquier medio.

Calidad de los retornos
Robustez adquirida (mayor resistencia sin intervención externa)
Reparación y/o Reforzamiento (adquisición de mayor resistencia)
Revalidación (uso de elementos similares)
Reparación
Reutilización (o re uso)

Estas herramientas se utilizarán en los apartados 4.4.4., 4.5. y 4.6.

### 3.2 ARQUITECTURA Y DISEÑO SISMORRESISTENTE. ÁREA DE OPORTUNIDAD DE LA ANTIFRAGILIDAD

El tema de la dualidad arquitectura-estructura es sumamente serio. Los revisores del Reglamento de Construcciones de CdMx (todavía del Distrito Federal) son ingenieros o, en todo caso, si participan arquitectos, lo hacen con posiciones apegadas al cumplimiento mecánico de las estructuras. Tanto así que: las cláusulas que se ocupan de la regularidad o no de las formas, establecen mayores factores de seguridad para las estructuras más irregulares.

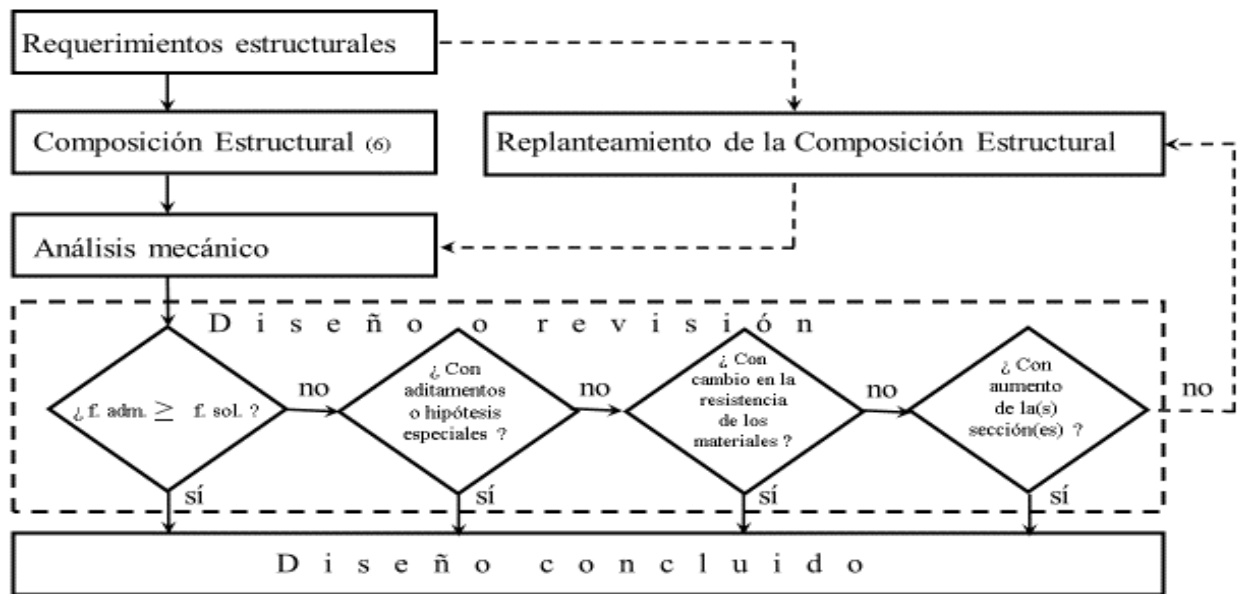


Imagen 3.2.1. Mapa conceptual del proceso estructural (González Tejeda, 2020, pág. 18)

El proceso estructural parte del enunciado de requerimientos, consta de tres etapas sustanciales: (véase imagen 3.2.1.)

Composición estructural o Estructuración; Análisis mecánico y Diseño o revisión.

### **3.2.1 Composición estructural o estructuración**

Se puede definir como la manera de acomodar y dimensionar elementos portantes, transmisores de esfuerzos y rigidizantes dentro del espacio que conforman los delimitantes arquitectónicos e incluso dentro de éstos. (González Tejeda, 2020, pág. 12)

### **3.2.2 Análisis mecánico**

Se refiere a la obtención y transmisión de todas las cargas o solicitaciones que actúan sobre todos y cada uno de los elementos estructurales (portantes, transmisores de esfuerzos y rigidizantes), con el objeto de conocer los efectos cuantificables que dichas solicitaciones producen en los modelos propuestos (González Tejeda, 2020, pág. 16).

Es importante señalar la necesidad de realizar los análisis necesarios (gravitacional, sísmico y eólico, entre otros) con el objeto de diseñar los elementos estructurales definitivos para el caso que resulte más desfavorable en el análisis.

### **3.2.3 Diseño o revisión**

Con esta actividad finaliza el proceso estructural. Se trata de comparar los esfuerzos admisibles internos de las piezas estructurales propuestas con los solicitados a efecto de ajustar, en caso necesario, sus medidas o proporciones físicas, así como las de elementos internos en el uso de materiales de composición heterogénea. Como está planteado en el diagrama inferior, el objetivo de la revisión es asegurar que el o los materiales propuestos en todos y cada uno de los modelos predimensionados de un sistema estructural, resistan óptimamente a las solicitaciones y a todos los efectos cuantificables que producen (González Tejeda, 2020, pág. 17).

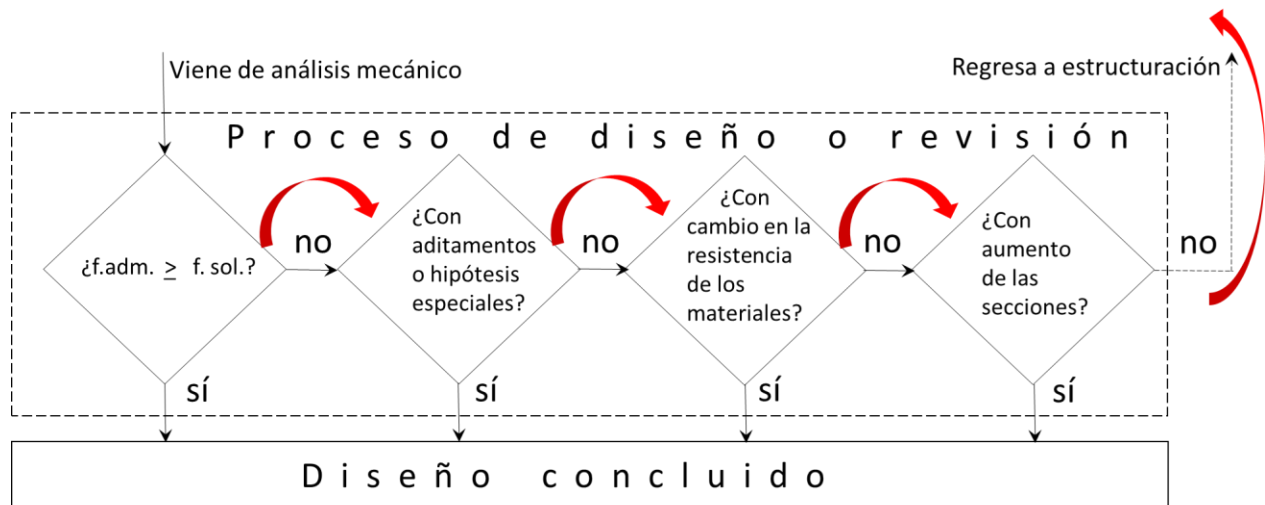


Imagen 3.2.2. Flujos estructurales con posibilidad de retroalimentaciones antifrágiles

En el caso de que sea mayor el esfuerzo solicitado, pueden realizarse hipótesis especiales, tanto en el análisis mecánico como en la consideración de trabajo del material. Asimismo, pueden colocarse aditamentos que no alteren sustancialmente la característica formal del elemento estructural.

Si aún no se logra la expresión indicada ( $f. adm. \geq f. sol.$ ), entonces se reconsidera la capacidad de trabajo del material utilizado, proponiendo, si es posible, el mismo material, pero con una mayor resistencia.

Cuando lo anterior tampoco soluciona el problema para que pase la revisión, puede acrecentarse el esfuerzo admisible, proponiendo para tal efecto un aumento de sección, lo cual se hará siempre y cuando se analicen los requerimientos constructivos y morfológico-espaciales.

En el caso de que, ni de esta manera pase la revisión, debe replantearse la estructuración en cualquiera de sus aspectos (González Tejeda, 2020, págs. 17-18).

Si bien es cierto que el análisis y el diseño estructural son labores realizadas por especialistas, dicho trabajo toma como punto de partida la estructuración o composición estructural y, esta última actividad se pretende que sea responsabilidad del diseñador arquitectónico, el cual debe ser capaz de inventar y dar proporciones a los elementos portantes visibles.

Es aquí donde toma relevancia la integralidad que se pretende inducir en la presente investigación<sup>10</sup>, debido a que los especialistas que se requieren en la práctica profesional por lo general realizan sus trabajos en relativos aislamientos cognoscitivos.

El constructor (arquitecto o ingeniero), que es otro especialista, debería de estar familiarizado con el comportamiento y la resistencia de los materiales, pues es él quien interpretará los resultados del diseño estructural.

Por eso resulta imprescindible reiterar que, aun que se pueda abstraer, la estructura no es un problema aislado ni independiente, y es en este punto que se incide en la tesis, al sugerir la conformación de equipos de trabajo que colaboren, tanto en la confección de los proyectos iniciales, como en las revisiones producidas por las posibles retroalimentaciones expuestas, tanto en la imagen 3.1.3., como en la 3.2.2.

---

<sup>10</sup> Como todavía existe la formación universitaria con una supuesta calidad de multi sapiencia (o inteligencia única); resulta evidente y necesaria la especialización temprana, que debe tomar como base el principio de las inteligencias múltiples, propuesto por Gardner desde 1983. Es evidente que este planteamiento puede dar pie a interesantes investigaciones futuras.

### **3.3 ROBUSTEZ**

La robustez del sistema puede referirse a la circunstancia mecánica de un inmueble; se alude, entonces, tanto a una sola estructura (aislada) como a un conjunto o complejo de éstas. En este sentido, se ubica dentro del análisis técnico o ingenieril, con los conceptos relativos a resistencia y rigidez, en un contexto geométrico.

Mas, al adentrarse en el conocimiento de los conceptos de la antifragilidad, se permiten abrir nuevas concepciones teóricas que procedan a enriquecer el debate; una de ellas es utilizar a la esbeltez como sinónimo de fragilidad y, de aquí, escalar a la robustez como posible equivalente a antifragilidad, sólo que con significaciones más amplias. Así, en cuanto a las propiedades geométricas, se mantiene muy por encima del concepto de resistencia estructural (referido a una parte de la estructura o un elemento estructural), pero se ve limitado a un sistema estructural (aunque incluso podría ser de grandes dimensiones). En este entorno, se puede hablar de la solidez estructural de un edificio.

Una de las principales aportaciones que pretende esta investigación es considerar al colectivo social como un ente integral, donde intervienen factores socioeconómicos, de aquí que se conciba a la rigidez-robustez integral como la capacidad antifrágil de apoyo a la comunidad para que ésta, en su tejido social, se vea reforzada (o robustecida) en el regreso, después de sufrir un estresor. Este principio se aplica en el apartado 4.5.3.

#### **3.3.1 Análisis estructural**

Se refiere a la obtención y transmisión de todas las cargas o solicitaciones que actúan sobre todos y cada uno de los elementos estructurales (portantes, transmisores de

esfuerzos y rigidizantes), con el objeto de conocer los efectos cuantificables que dichas solicitaciones producen en los modelos propuestos (González Tejeda, 2020, pág. 16).

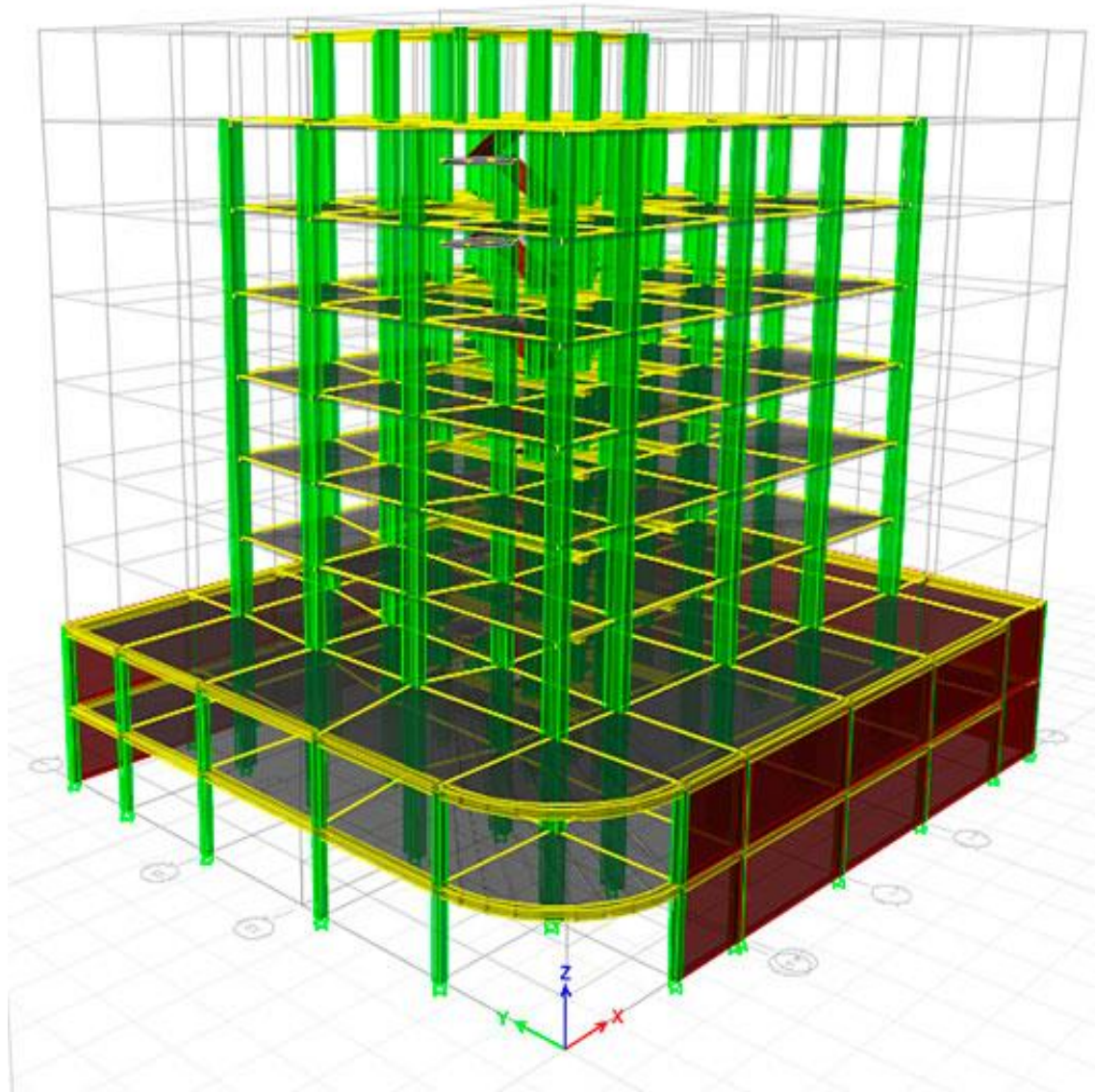


Imagen 3.3.1.1. Análisis estructural espacial (Construplot, 2021)

### 3.3.2 Resistencia

Puede entenderse, de manera sencilla, como la oposición de los materiales a la destrucción propiciada por diversos tipos de cargas o solicitaciones.

### 3.3.3 Rigidez

Concepto utilizado para medir la indeformabilidad (o deformación tolerable) de los objetos. Se utiliza en movimientos angulares, así como en desplazamientos lineales tanto normales como transversales. Su valor está en función de las dimensiones, pero, sobre todo, proporciones, de los elementos estructurales que conforman el sistema estructural.

Y a partir de dichas geometrías y tolerancias, intervienen dos importantes conceptos, la **robustez** y su opuesto: la **esbeltez**, componentes fundamentales de la propiedad que se está investigando, que es la antifragilidad.

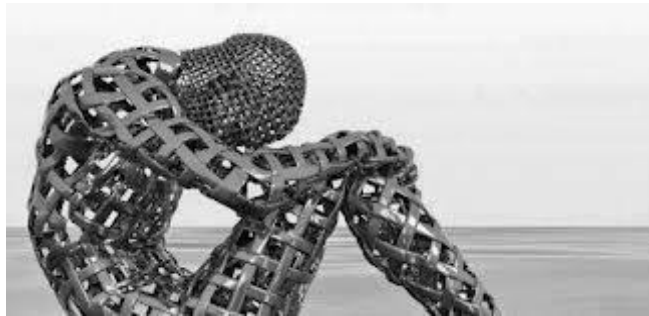


Imagen 3.3.3.1. (Rigidez, 2013)

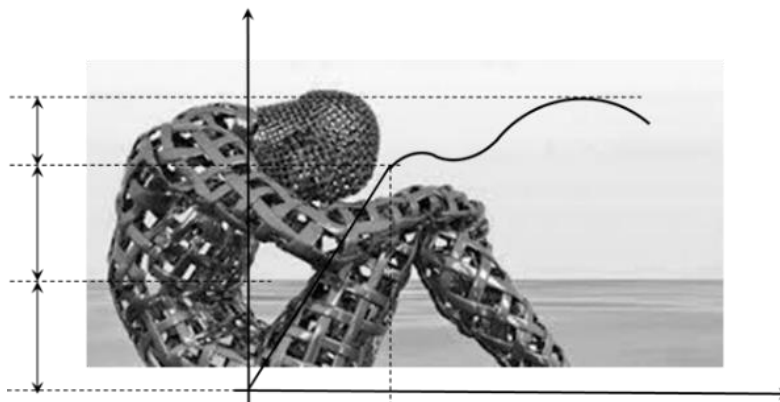


Imagen 3.3.3.2. <sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> Se ha utilizado la terminología que se emplea comúnmente en el contexto de los Sistemas Estructurales, con el objeto de generar una aproximación al tema desde el punto de vista mecánico-estructural.



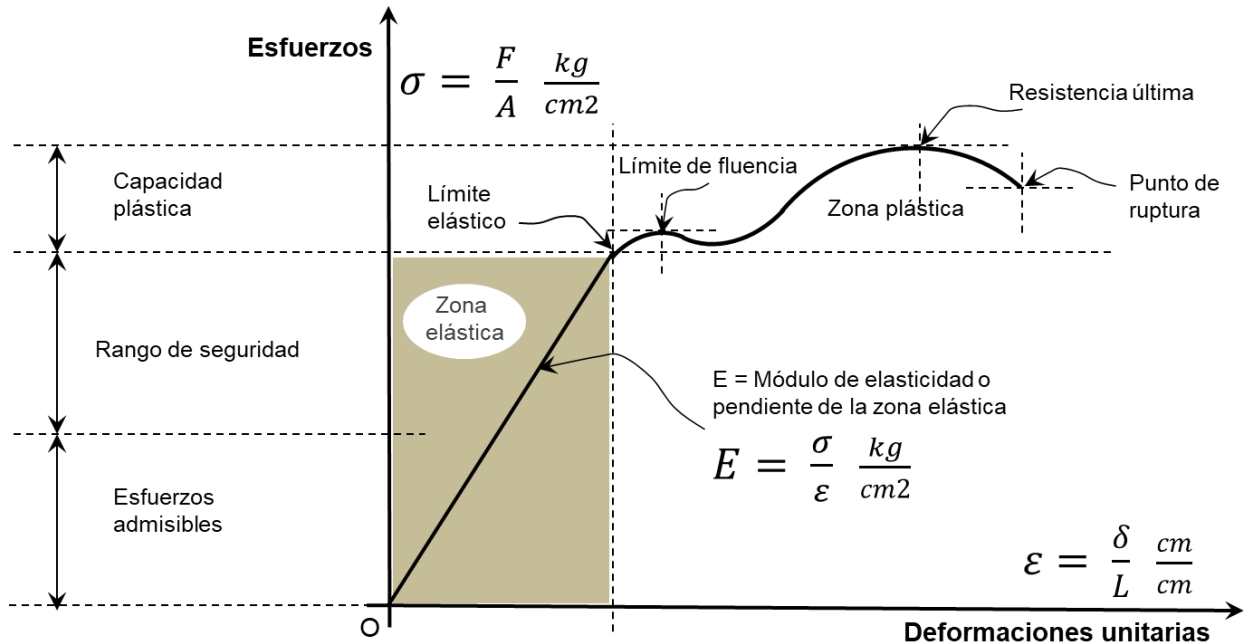


Imagen 3.3.3.3. Diagrama de esfuerzos y deformaciones. (González Tejeda, Análisis de Estructuras Arquitectónicas. Mecánica de materiales y análisis de sistemas hiperestáticos, 2020, pág. 17)<sup>12</sup>

### 3.3.3.1 Rigidez Angular

En la literatura se menciona que, ante deformaciones producidas por eventos sísmicos, en las vigas con apoyos continuos en sus dos extremos, debido a su rigidez, se presentan fenómenos mecánicos que pueden poner en riesgo la estabilidad de la construcción. La rigidez angular se obtiene conforme a la siguiente fórmula.

$$(R = 4EI/L) \text{ }^{13}$$

En donde R = Rigidez

E = Módulo de elasticidad

<sup>12</sup> Partiendo del diagrama de esfuerzos y deformaciones (González Tejeda, Análisis de Estructuras Arquitectónicas. Mecánica de materiales y análisis de sistemas hiperestáticos, 2020, pág. 17), se puede realizar el análisis del concepto rigidez con enfoque de robustez dentro de la teoría de la antifragilidad. Se considera exponer únicamente las rigideces angular y lineal.

<sup>13</sup> La deducción analítica y resolución de esta expresión, se presenta en el Anexo 2.

I = Momento de inercia

L = Longitud del elemento estructural

### 3.3.3.2 Rigidez Lineal

Por lo que respecta a la rigidez lineal, ésta se obtiene conforme a la siguiente fórmula.

$$(R = 12 E I / L^3)^{14}$$

En donde R = Rigidez

E = Módulo de elasticidad

I = Momento de inercia

L = Longitud del elemento estructural

Como podrá observarse, en el caso de la rigidez lineal o lateral, se incrementa la condición de esbeltez, dado que ésta aumenta exponencialmente al crecer la longitud del elemento estructural.

La esbeltez es inversamente proporcional a la robustez, con aumento exponencial.

Es importante vincular la fragilidad a la robustez y a la antifragilidad en el campo de estudio de interés (en este caso, principalmente la ingeniería civil y estructural), y resaltar sus límites y dependencias.

---

<sup>14</sup> La deducción analítica y resolución de esta expresión, se presenta en el Anexo 3.

De esta manera, cuando se tenga que abordar el campo eminentemente arquitectónico, invariablemente se deberá re pensar en la interdisciplinariedad, no nada más en la propia e histórica de la interacción arquitecto-ingeniero, sino en la más reciente y necesaria del arquitecto con infinidad de disciplinas tendientes a la obtención de niveles de excelencia en la ejecución de obras urbanas, tanto para compromisos gubernamentales, como para respuestas y resoluciones que requiera la comunidad.

### **3.3.4 Robustez y antifragilidad en un contexto epistemológico**

Con el objeto de generar la apertura a la participación de la antifragilidad en varios lugares conceptuales, como ya se ha propuesto, desde su inmersión en el proceso proyectual hasta, como más adelante se tratará, en el entramado social, es necesario realizar una serie de observaciones con una perspectiva epistemológica. Estudiar los principios y sus fundamentos, así como las posibles extensiones o proyecciones metodológicas en la construcción de conocimiento.

En el entendido de que la esbeltez puede corresponder a lo frágil y, como ya se propuso en 3.3., la robustez, a lo antifrágil, es posible hacer algunos reacomodos, que podrán sentar las bases para nuevas líneas de investigación, con esta multiplicidad de enfoques. Así, en una primera aproximación, puede considerarse lo siguiente:

<b>Área de lo esbelto</b>	<b>Área de lo robusto</b>
Lo frágil	Lo antifrágil
Posibles fallas frágiles	Posibles fallas dúctiles (o tenaces)

## 4 APLICACIÓN DE CONCEPTOS DE ANTIFRAGILIDAD EN LA GESTIÓN DE RIESGOS SÍSMICOS

---

“Decían los periódicos: El mundo atraviesa por un momento angustioso. El espectro de la guerra final se proyecta en el horizonte. El símbolo sombrío de nuestro tiempo es el hongo atómico. Sin embargo, había esperanza. Nuestros libros de texto afirmaban: Visto en el mapa México tiene forma de cornucopia o cuerno de la abundancia. Para el impensable año dos mil se auguraba -sin especificar cómo íbamos a lograrlo- un porvenir de plenitud y bienestar universales. Ciudades limpias, sin injusticia, sin pobres, sin violencia, sin congestiones, sin basura (...)”.

José Emilio Pacheco, de su libro Batallas en el desierto <sup>15</sup>

En este capítulo se conocerán las principales características físicas del inmueble propuesto como caso de estudio, así como de su contexto, para poder analizar su injerencia en el tema de la antifragilidad en la gestión de riesgos sísmicos.

Como se sabe de la vastedad de alternativas de interconexión, se ha decidido incursionar básicamente en aquellas que permitan mostrar y, en su caso, validar la metodología de

---

<sup>15</sup> Novela publicada en 1981

trabajo de esta tesis, misma que se centra, por un lado, en la rutina del análisis y diseño estructural, y, por el otro, en el probable fortalecimiento del entorno social, después de una ocurrencia sísmica y/o de un estresor psicosocial, y que se vea beneficio o refuerzo producto del comportamiento del ente arquitectónico.

## 4.1 TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

El Tecnológico Nacional de México (TecNM) es una institución de educación superior tecnológica de vanguardia, con reconocimiento internacional por el destacado desempeño de sus egresados y por su capacidad innovadora en la generación y aplicación de conocimientos (Tecnológico TecNM, 2020).

Su misión es la de formar integralmente profesionales competitivos de la ciencia, la tecnología y otras áreas de conocimiento, comprometidos con el desarrollo económico, social, cultural y con la sustentabilidad del país.

En la alcaldía de Milpa Alta existen dos campus.



Imagen 4.1.1. Perspectiva del Proyecto Tipo. Propiedad de INIFED y revisada por el autor

El primero, que celebra este año su doceavo aniversario, pues abrió sus puertas en el año 2009, se ubica en la Colonia San Salvador Cuauhtenco, una zona con características urbanas claras y definidas.

El segundo, inaugurado en el 2016, en el cual el autor de esta tesis colaboró un año antes (2015), en el proceso que abarca desde los estudios preliminares hasta el proyecto arquitectónico ejecutivo, se encuentra emplazado en la Colonia San Juan Tepenáhuac, que corresponde a un entorno semi rural.

En este segundo campus, denominado Milpa Alta II, se ofrecen las carreras de:

- Ingeniería en Sistemas Computacionales
- Ingeniería en Gestión Empresarial
- Ingeniería industrial (TecNM, 2019)

## 4.2 ALCALDÍA DE MILPA ALTA

La alcaldía de Milpa Alta se localiza al sureste de la Ciudad de México; sus coordenadas geográficas son: 19° 13' y 19° 04' de latitud Norte y 98° 57' y 98° 10' de longitud Oeste; su territorio abarca una superficie de 28,375 ha (Milpa Alta, 2014). En la imagen 4.2.1. puede apreciarse la magnitud de la alcaldía en proporción con la Ciudad de México. Es importante notar que el entorno social pertenece a un esquema semi rural.



Imagen 4.2.1. Ubicación de la alcaldía de Milpa Alta en la CdMx. Elaborado por el autor



Milpa Alta limita al norte con las alcaldías Tláhuac y Xochimilco, al oeste con la alcaldía Tlalpan, al este con los municipios mexiquenses de Chalco, Tenango del Aire y Juchitepec, y al sur con los municipios de Tlalnepantla y Tepoztlán, Estado de Morelos.

La Alcaldía Milpa Alta se localiza en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, en la subprovincia Lagos y Volcanes y en el sistema Sierra Volcánica, en su totalidad dentro de la sierra Ajusco Chichinautzin, zona de origen volcánico reciente, en donde los suelos se encuentran en proceso de formación y la cual se considera como una de las regiones de mayor permeabilidad. También es frontera de dos regiones biogeográficas, la Neártica y la Neotropical. (Para más información, ver Anexo 4).

### 4.3 INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MILPA ALTA II

Ubicación: Prolongación Vicente Guerrero s/n, San Juan Tepenahuac, Alcaldía Milpa Alta, C. P. 12800, Ciudad de México.

El contexto o entorno social pertenece a un sitio semi rural, con una topografía descrita en la ladera de una pequeña montaña y con el clima propio de los lomeríos en los alrededores de la Ciudad de México.

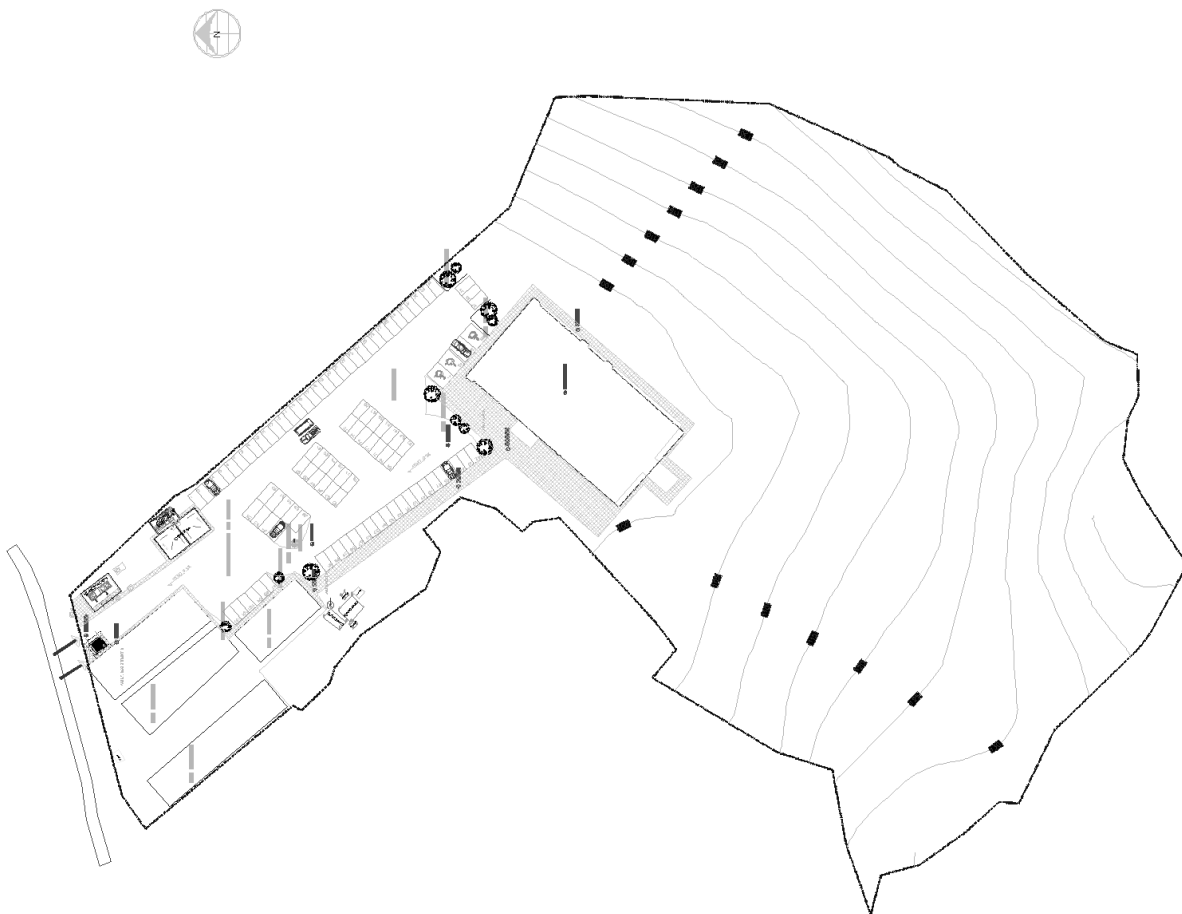


Imagen 4.3.1. Representación de plano topográfico ACE-01. Elaborado por el autor

La configuración planimétrica y altimétrica se presentan en el plano topográfico ACE-01 (véase imagen 4.3.1.); en dicho plano se presentan los resultados de la matematización

del levantamiento topográfico consignando en forma gráfica la geometría del predio así como sus dimensiones, linderos, rumbos magnéticos, áreas y detalles relevantes.

El plano contiene ubicación del Tecnológico, curvas de nivel, árboles, construcciones existentes, rasgos importantes, además de los cuadros de construcción del predio.

Se calcularon (y están en el plano y la memoria correspondiente) secciones longitudinales a cada 5 metros del terreno natural y proyecto del predio, procesado en CivilCad.

Es conveniente constatar que se cuenta con estudios de geotecnia y mecánica de suelos, así como con memorias descriptivas y cálculo estructural del inmueble.

Esta información, junto con la correspondiente al contexto de la Alcaldía, ha contribuido para poderla aplicar en el programa correspondiente.

## **4.4 PROPUESTA DE HOJA DE RUTA EN PROGRAMA INTERNO**

Con respecto al Programa interno de protección civil para la prevención y recomendaciones ante eventos sísmicos, se analizará lo propuesto por la alcaldía Milpa Alta, en el programa 2018-2021 del Consejo de Protección Civil, así como lo establecido en la Coordinación Nacional de Protección Civil CNPC, de tal forma que pueda proponerse un reforzamiento al programa, a partir del último estresor sísmico.

En un sentido estricto, durante casi todo el año 2020 y la primera mitad del año 2021, el Tecnológico de Milpa Alta II (como prácticamente todo el sector educativo) se encuentra en medio de un evento o perturbación causado por la restricción sanitaria propiciada por la pandemia del virus Covid-19 o SARS-COV 2.

Por tal motivo, a partir de este apartado se planteará un modelo a seguir, dentro del programa ya indicado, así como la evaluación de los procesos, tanto de diseño, como de uso del inmueble, que respondan a los principios de la antifragilidad.

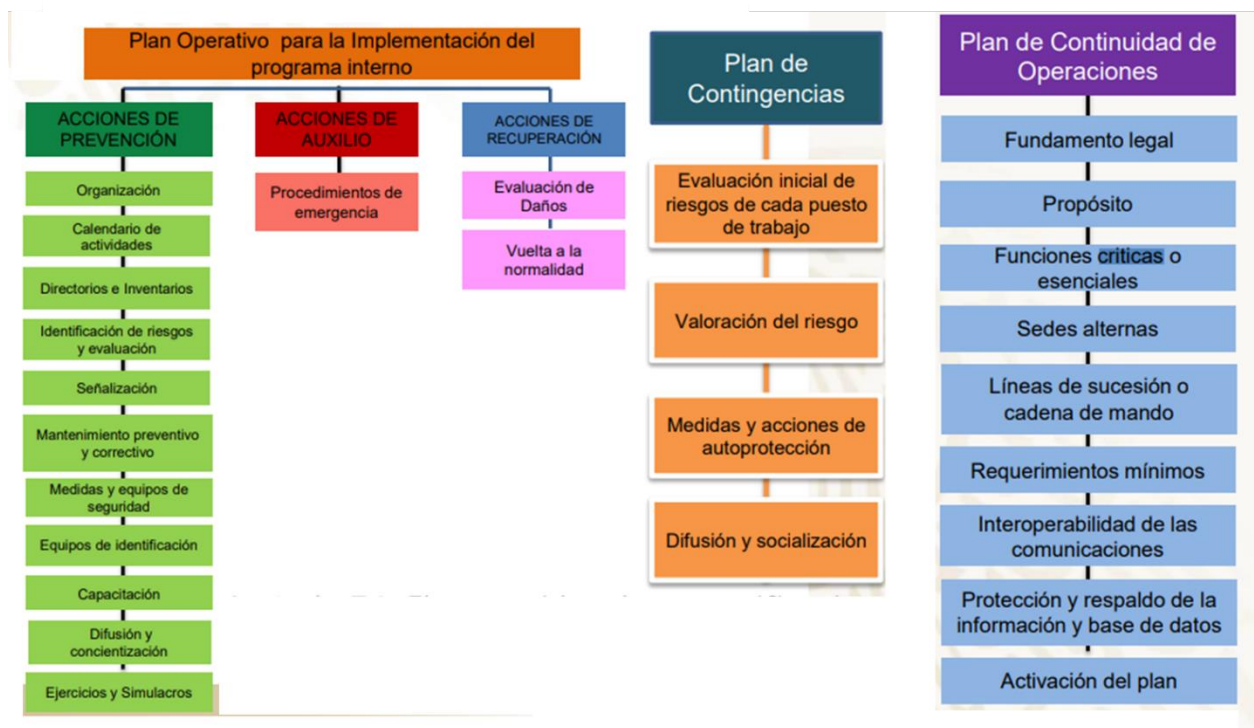
### **4.4.1 Programa de la Coordinación Nacional de Protección Civil CNPC**

El propósito del programa establecido en la Ley General de Protección Civil consiste en Mitigar los riesgos previamente identificados, así como definir acciones preventivas y de Respuesta. (Programa Interno de Protección Civil, 2019, pág. 4)

En la imagen 4.4.1.1. pueden apreciarse las acciones requeridas para una correcta planeación y en la 4.5.1.2., la estructura del programa interno, mediante un plan operativo para su implementación.



**4.4.1.1. Esquema de planeación** (Programa Interno de Protección Civil, 2019, pág. 4)



**4.4.1.2. Estructura del programa interno** (Programa Interno de Protección Civil, 2019, pág. 12)

La Unidad Interna de Protección Civil “es el órgano normativo y operativo, cuyo ámbito de acción se circunscribe a las instalaciones de una institución, dependencia o entidad perteneciente a los sectores público privado o social, que tiene la responsabilidad de desarrollar y dirigir las acciones de protección civil, así como elaborar, implementar y coordinar el Programa Interno”. (Programa Interno de Protección Civil, 2019, pág. 15)

#### **4.4.2 Programa de la Alcaldía de Milpa Alta**

“El Programa General de Protección Civil de la Alcaldía de Milpa Alta para el Trienio 2018-2021 agrupa un conjunto de políticas, normas, estrategias y lineamientos que tienen como objetivo proteger a las personas, sus bienes y entorno, así como asegurar el funcionamiento de los servicios públicos y el equipamiento estratégico, mediante las acciones específicas, coordinadas y delimitadas que realicen los sectores público, privado y social” (Programa general de protección civil de la alcaldía de Milpa Alta. Período 2018-2021, 2018, pág. 10).

Por sus características, complejidad y extensión, el Programa General de Protección Civil no es tarea de una sola instancia, requiere de la participación y de la intervención de todos: los sectores público, social y privado estrechamente articulados en sus políticas y programas. (Programa general de protección civil de la alcaldía de Milpa Alta. Período 2018-2021, 2018, pág. 10)

De este Programa se derivan y designan actividades, responsabilidades y lineamientos de acción, plenamente homogéneas y coherentes enmarcados en tres subprogramas sustantivos de prevención, auxilio y restablecimiento. (Programa general de protección civil de la alcaldía de Milpa Alta. Período 2018-2021, 2018, pág. 10)

Acerca de la susceptibilidad en el peligro sísmico, la alcaldía Milpa Alta se encuentra en la región sísmica tipo B, considerada como peligro intermedio, con aceleraciones mayores al 10% y menores al 36% de la gravedad, y la recurrencia de sismos es media. Conforme a una base de datos de 50,487 eventos sísmicos reportados desde enero de 1990 a septiembre del 2017, la mayor concentración de epicentros en el territorio nacional que inciden en la delegación, proviene de las costas del Pacífico y la mayoría son de

magnitud menor a cuatro, aunado a ello, el tipo de sismos que sobresalen son de profundidad intermedia además de sismos superficiales de menor intensidad. (Programa general de protección civil de la alcaldía de Milpa Alta. Período 2018-2021, 2018, pág. 19)

De acuerdo a lo observado en la sismicidad histórica, el evento más devastador que ha afectado a la Alcaldía recientemente es el sismo intraplaca del día 19 de septiembre de 2017 con magnitud 7.1° y localizado en el límite estatal entre los estados Puebla y Morelos, sí bien este sismo no proviene de las costas del Pacífico causó daños en la región noreste de la demarcación. (Programa general de protección civil de la alcaldía de Milpa Alta. Período 2018-2021, 2018, pág. 20)

En la alcaldía de Milpa Alta predomina la intensidad media; las aceleraciones máximas van de 14.33 cm/s<sup>2</sup> a 16.2 cm/s<sup>2</sup>, 43.55 cm/s<sup>2</sup> a 56.47 cm/s<sup>2</sup> y 118.44 a 127.15 cm/s<sup>2</sup> para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años, respectivamente. Los acelerogramas sintéticos generados para Milpa Alta muestran valores máximos para zona de loma de 95 cm/s<sup>2</sup> y para la zona de transición de 115 cm/s<sup>2</sup> (Programa general de protección civil de la alcaldía de Milpa Alta. Período 2018-2021, 2018, pág. 20)

Los resultados de sismicidad local muestran un grupo de epicentros al noreste de la alcaldía y de las alcaldías aledañas, con magnitudes reportadas desde 2° hasta 3.7°, si bien las magnitudes de los sismos son bajas, este tipo de sismos es percibido por la población ya que a mayor cercanía con el epicentro, las ondas sísmicas se atenúan menos y el sismo se siente con mayor intensidad. (Programa general de protección civil de la alcaldía de Milpa Alta. Período 2018-2021, 2018, pág. 20)

Acerca de los caídos o derrumbes de laderas montañosas, se tienen ubicados cinco polígonos de peligro, trazados en campo, dos de los cinco se encuentran en tramos carreteros. De todos los pueblos de la alcaldía, en Villa Milpa Alta, San Pedro Atocpan y San Bartolomé Xicomulco, existe un polígono de peligro alto por derrumbe y cuatro por caída de roca. Los polígonos identificados son: **Instituto Tecnológico de Milpa Alta II** (9,912 m<sup>2</sup>) (véase imagen 4.5.2.3.), Tramo San Pedro Atocpan- Villa Milpa Alta (6,390 m<sup>2</sup>), Tramo San Pedro Atocpan- San Bartolomé Xicomulco (92,545 m<sup>2</sup>), Tramo carretero San Pedro Atocpan-San Bartolomé Xicomulco (6,027 m<sup>2</sup>), y Tramo Carretero San Pedro Atocpan-Villa Milpa Alta (769 m<sup>2</sup>). (Programa general de protección civil de la alcaldía de Milpa Alta. Período 2018-2021, 2018, págs. 22-23)



4.5.2.3. Imagen de la ladera en el sitio Milpa Alta II. Foto del autor



De allí la importancia de contar con personal altamente calificado, para que se pueda disponer de suficientes colaboradores que puedan atender las necesidades de auxilio a la población, tanto para su rescate como para la atención de situaciones graves que atenten contra la vida de la ciudadanía” (Programa general de protección civil de la alcaldía de Milpa Alta. Período 2018-2021, 2018, pág. 35)

#### 4.4.3 Propuesta de hoja de ruta con criterios de antifragilidad



Imagen 4.4.3.1. Hoja de ruta propuesta

A continuación, se enunciará la posibilidad antifrágil de cada microflujo

##### 4.4.3.1 Entorno de construcción – Evaluación de riesgo

Revisión y, en su caso, reforzamiento en: las prácticas de gestión de la construcción y las tecnologías de construcción dentro de las cuales se planifica, diseña, construye, opera y mantiene la infraestructura escolar.

#### **4.4.3.2 Entorno financiero – Entorno de construcción**

Revisión y, en su caso, reforzamiento en: el entorno financiero dentro del cual se planifica, diseña, construye, opera y mantiene la infraestructura escolar.

#### **4.4.3.3 Estrategia de intervención – Entorno financiero**

Revisión y, en su caso, reforzamiento en: los arreglos de implementación del plan de acuerdo con la estrategia de intervención, el plan de inversiones y el marco institucional y legal del país.

#### **4.4.3.4 Evaluación de riesgo – Estrategia de intervención**

Revisión y, en su caso, reforzamiento en: permitir que los equipos de trabajo identifiquen diferentes opciones de intervención cuantificando el daño potencial a los estudiantes, los daños y pérdidas a la infraestructura escolar existente y la interrupción de los servicios causada por la ocurrencia de eventos peligrosos de diversa intensidad y frecuencia.

#### **4.4.4 Escalas para ponderar la antifragilidad como aportación metodológica**

Como se externó en 3.1.3.2., se cumplirá con propiedad de antifrágil, siempre que, el origen de la revisión, sea ejercido por un estresor y, el resultado procesual del microflujo produzca un reforzamiento del sistema.

Las observaciones de reconocimiento y las inspecciones físicas de los inmuebles y/o de las memorias técnicas, por lo general, se dan a partir de fenómenos físicos de perturbación, principalmente, sismos (y/o derrumbes), incendios e inundaciones. Pero, cuando la exploración de un edificio se efectúa por otra causa e incluso, cuando lo que

se inspecciona únicamente es el proceso conceptual, será muy útil establecer mecanismos de medición que coadyuven en elaboración de la ponderación planteada.

Al asumir al riesgo como construcción social (ver apartado 1.5.1.), es posible realizar un acercamiento cuantitativo, mediante un modelo o simulador que facilite la evaluación de lo antifrágil, a partir de evaluaciones cualitativas. Al igual que en 2.3.3., se utilizarán ponderaciones con base a las recomendaciones de *Leopold*.

Intensidad de Fenómeno perturbador de origen físico		Sismo
(10)	Sismo con afectación de elementos estructurales.	
(8)	Sismo con afectación de elementos arquitectónicos no estructurales.	
(6)	Sismo con afectación y/o caída de objetos no arquitectónicos.	
(4)	Sismo con movimientos sensibles en todo el colectivo social.	
(1)	Sismo con movimientos imperceptibles en el colectivo social.	

4.4.4.1. Modelo-simulador-herramienta con características y categorías sugeridas por el autor, en donde, si la suma de las intensidades y las frecuencias, es mayor o igual a 6, la situación podrá quedar inmersa en el ámbito de la antifragilidad.

Intensidad de Estresor psicosocial con base a cumplimiento de metas	
(10)	Depresión manifiesta y/o no cumplimiento constante de metas.
(8)	Ansiedad manifiesta y/o no cumplimiento esporádico de metas.
(6)	Ansiedad debida a respuestas mediatas en cuanto al cumplimiento de metas.
(4)	Desesperanza y/o desmotivación por cumplir las metas.
(1)	Falta de energía generalizada en torno al cumplimiento de las metas.

4.4.4.2. Modelo-simulador-herramienta con características y categorías sugeridas por el autor, en donde, si la suma de las intensidades y las frecuencias, es mayor o igual a 6, la situación podrá quedar inmersa en el ámbito de la antifragilidad.

Intensidad de Estresor psicosocial con base a relaciones laborales interpersonales	
(10)	Depresión manifiesta y/o situaciones laborales constantes de carácter tóxico.
(6)	Ansiedad debida a situaciones laborales esporádicas de carácter tóxico.
(2)	Desesperanza y falta de energía por incompreensión con el personal de trabajo.

4.4.4.3. Modelo-simulador-herramienta con características y categorías sugeridas por el autor, en donde, si la suma de las intensidades y las frecuencias, es mayor o igual a 6, la situación podrá quedar inmersa en el ámbito de la antifragilidad.

Origen del cambio o de la revisión	
(10)	Falla estructural y/o de elemento arquitectónico de otra índole
(8)	Solicitud reiterada del usuario o cliente
(6)	Incertidumbre
(4)	Solicitud del usuario o cliente
(2)	Revisión rutinaria (sin mandato por afectación)
(0)	Parte del proceso proyectual

4.4.4.4. Modelo-simulador-herramienta con características y categorías sugeridas por el autor, en donde, si la suma de las intensidades y las frecuencias, es mayor o igual a 6, la situación podrá quedar inmersa en el ámbito de la antifragilidad.

Frecuencia de modificaciones producidas por cambios y/o revisiones	
(7)	Siempre
(6)	Casi siempre
(3)	Esporádicamente
(1)	Casi nunca
(0)	Nunca

4.4.4.5. Modelo-simulador-herramienta con características y categorías sugeridas por el autor, en donde, si la suma de las intensidades y las frecuencias, es mayor o igual a 6, la situación podrá quedar inmersa en el ámbito de la antifragilidad.

Calidad de los retornos	
(10)	Robustez adquirida (mayor resistencia sin intervención externa)
(6)	Reparación y/o Reforzamiento (adquisición de mayor resistencia)
(3)	Revalidación (uso de elementos similares)
(2)	Reparación
(1)	Reutilización (o re uso)

4.4.4.6. Modelo-simulador-herramienta con características y categorías sugeridas por el autor, en donde, si la suma de las intensidades y las frecuencias, es mayor o igual a 6, la situación podrá quedar inmersa en el ámbito de la antifragilidad.



## 4.5 ESTUDIO DE CASO

En el año 2014, el suscrito fue contratado por el Instituto Local de la Infraestructura Física Educativa del Distrito Federal (ILIFE DF), para evaluar el predio en donde se ubicaría el Instituto Tecnológico de Milpa Alta II, así como para revisar y determinar la factibilidad del proyecto ejecutivo realizado con anterioridad por el Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (INIFED).

El trabajo se ubicó en el rubro denominado Estudios y Proyectos, el que, a la letra del contrato, incluye, principalmente las siguientes obligaciones: “diseño, representación de las soluciones técnicas del proyecto, planos de detalle, anexos técnicos justificativos y especificaciones detalladas de la ejecución del proyecto”.<sup>16</sup>

Es por ello que se cuenta prácticamente con toda la información proyectual del inmueble.

### 4.5.1 Revisión de elemento estructural

Para demostrar aplicaciones concretas de lo enunciado en los apartados 3.1.3. y 3.2.3., se presenta a continuación el proceso de revisión de un importante elemento estructural-arquitectónico, mismo que fue posible gracias a la interacción profesional-laboral entre arquitectos e ingenieros civiles en comunicación constante con el ente contratante.

La retroalimentación presentada en 3.1.3.1.4. y 3.1.3.1.5., presentó una observación por parte del despacho de ingenieros civiles encargado de la revisión del análisis y diseño de la estructura.

---

<sup>16</sup> Contrato de Obra Pública Número ILIFED/019/2014, para la contratación de Estudios y Proyectos para la construcción del edificio, entre otros, del Instituto Tecnológico de Milpa Alta II, firmado entre el Ilife DF y el autor de la tesis, como Representante Legal de la empresa Edificaciones y Calidad Total, S.A. de C.V. con fecha 1 de diciembre de 2014.

Como podrá notarse, en las imágenes siguientes (ver 4.5.1.1. a 4.5.1.4.), la disposición de las columnas, representa, con respecto a la forma geométrica de la planta del inmueble, una orientación no conveniente, desde el punto de vista del comportamiento mecánico estructural, precisamente ante la presencia de las fuerzas horizontales producidas por los eventos sísmicos.

El estructurista, entonces, sugirió la rotación (en planta) de la proporción de dichas columnas; situación que fue expuesta ante las autoridades del Ilife DF, quienes rechazaron la propuesta. Los motivos fueron: la irrupción formal de un elemento extraño en los muros de las aulas, los que, al tener un acabado porcelanizado, fungen como una pizarra continua en todo el perímetro interior de las aulas.

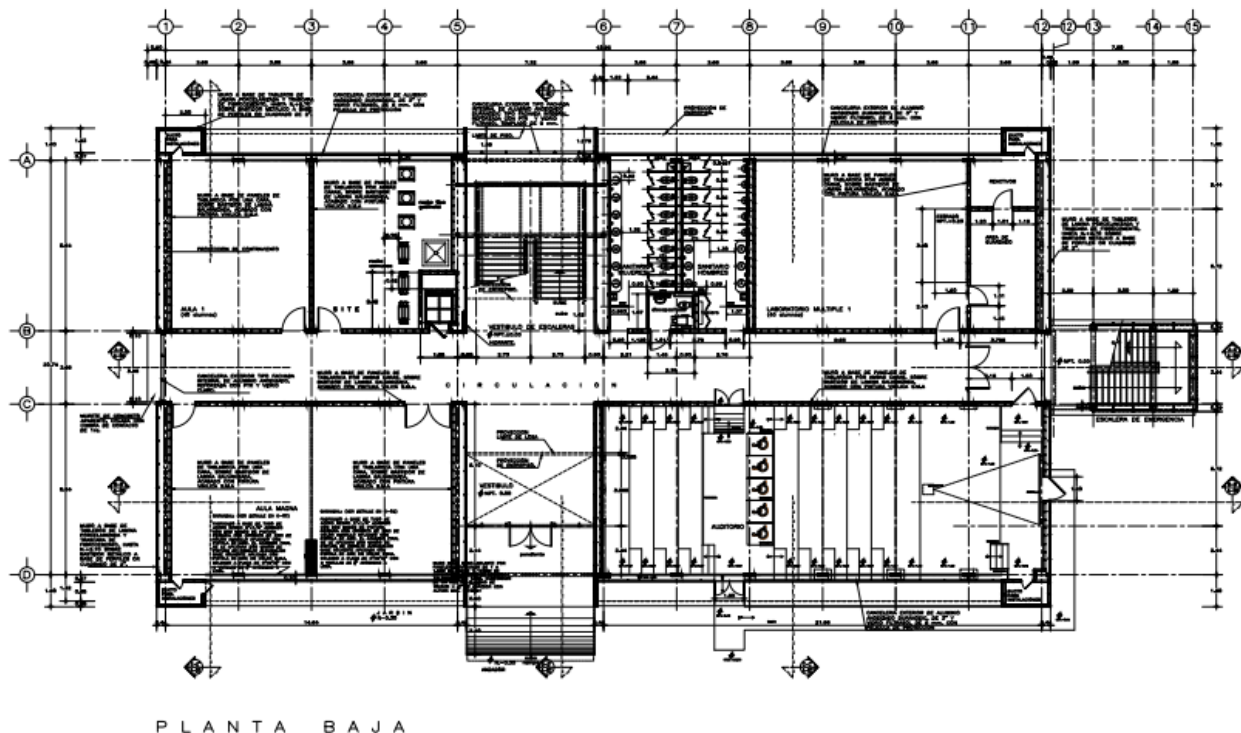


Imagen 4.5.1.1. Planta baja arquitectónica. Elaborada por el autor

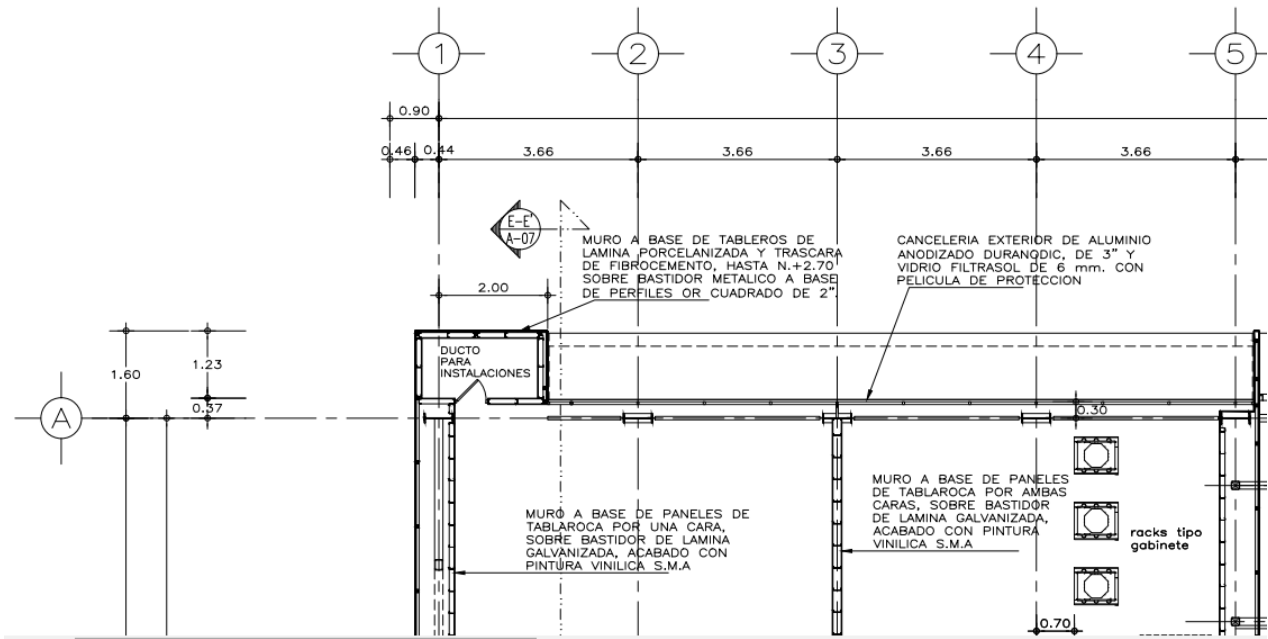


Imagen 4.5.1.2. Detalle planta baja arquitectónica. Elaborada por el autor

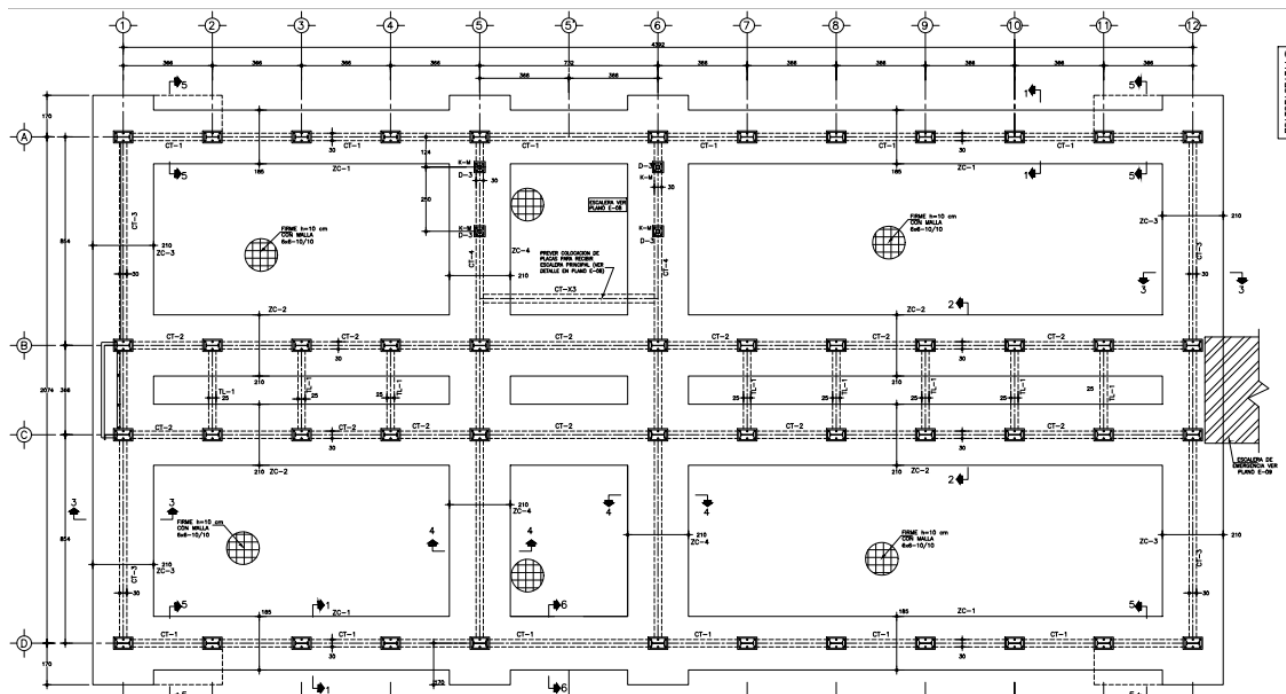


Imagen 4.5.1.3. Planta estructural de cimentación. Elaborada por el autor



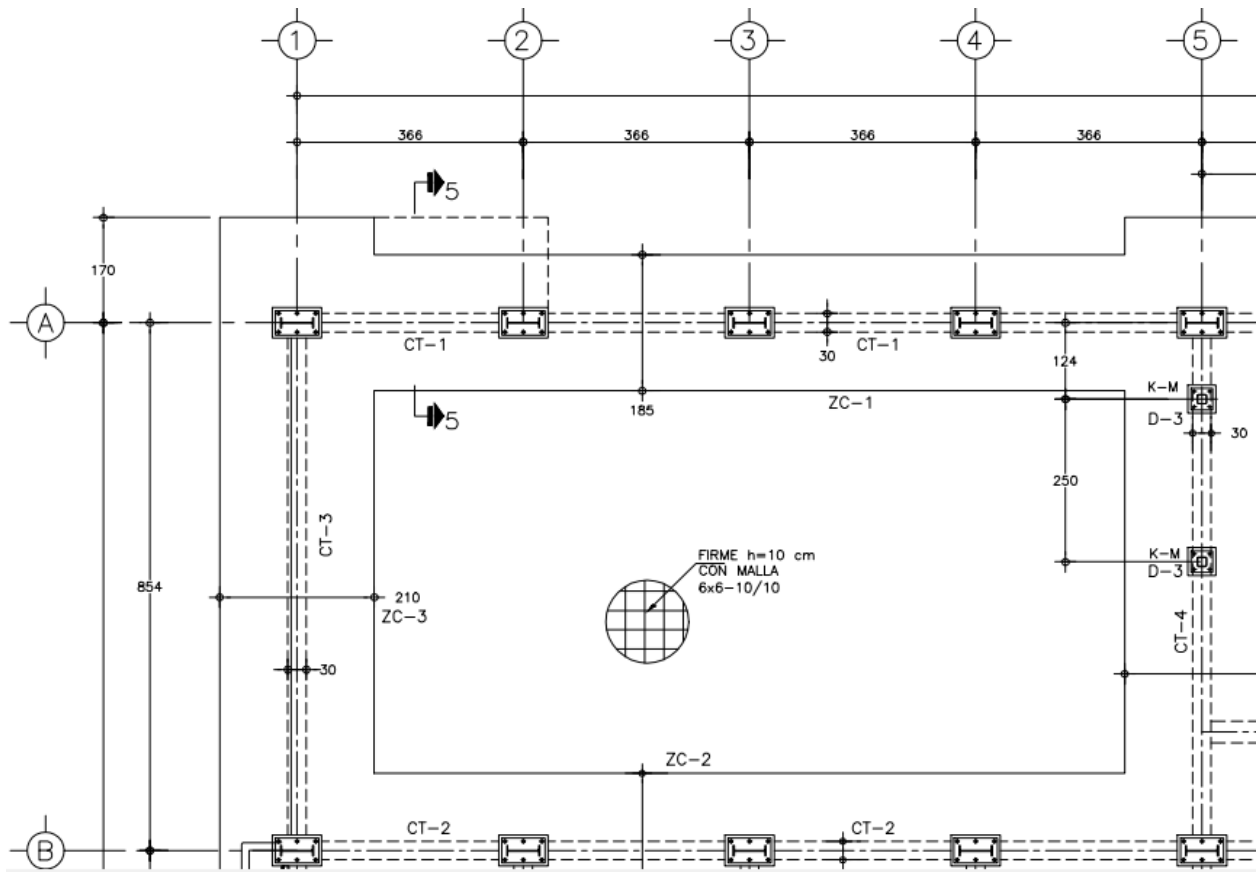
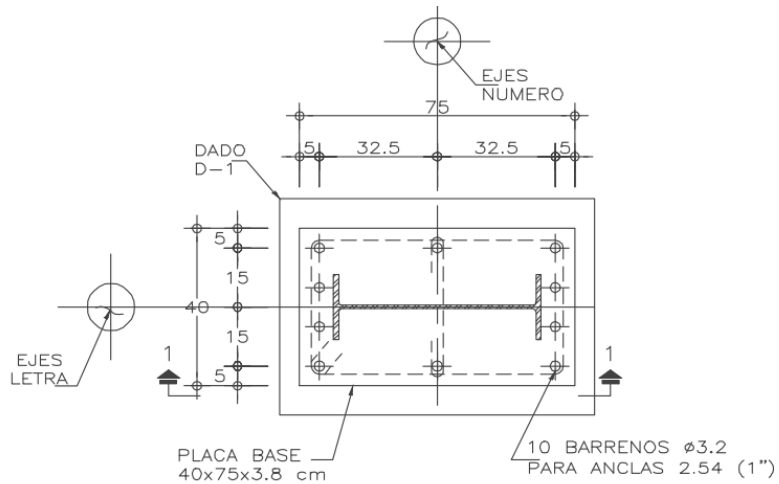


Imagen 4.5.1.4. Detalle planta estructural de cimentación. Elaborada por el autor

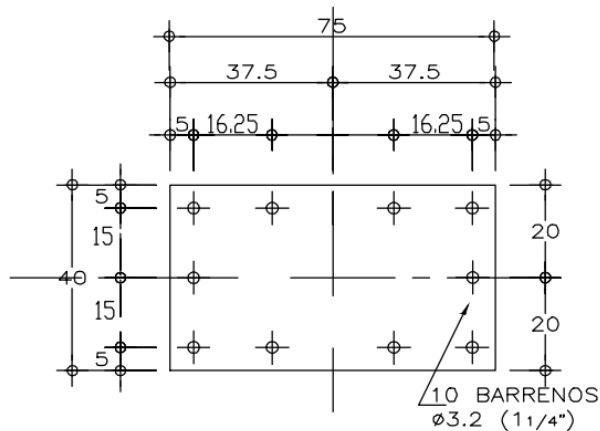
De ahí, procedió a realizarse la revisión estructural analítica; de la que resultó que, las disposiciones proyectadas sí cumplen con los estados límites de falla y de servicio mencionados en el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal.

Sin embargo, las placas base, como estaban propuestas originalmente, no cumplían en cuanto al número y disposición de anclas (ver imagen 4.5.1.5.), por lo que se dio un replanteamiento en dicho elemento (ver imagen 4.5.1.6.).



### PLACA BASE PARA COLUMNAS

Imagen 4.5.1.5. Placa base conforme a proyecto original. Recopilada por el autor



### PLACA DE 40X75X3.8

Imagen 4.5.1.6. Placa base conforme a nuevo proyecto. Elaborada por el autor

Se puede hacer una interpretación antifrágil del suceso, dado que se cumple con el principio de la robustez adquirida, después de un estresor tendiente a la vulnerabilidad del objeto estructural, así como al cumplimiento de la integración de conocimientos profesionales de las distintas y necesarias áreas involucradas en cuanto a la resolución óptima de una problemática específica.

La aportación se centra en la lectura de lo acontecido en el terreno de la antifragilidad, lo cual se describe a continuación, a partir de lo expuesto en 3.2.3.

Al realizar la revisión del área de las anclas sombreadas, correspondientes a las perforaciones que se presentan en la imagen 4.5.1.7., se demostró que, debido a su disposición, eran escasas, por lo que se procedió a hacer un replanteamiento, manteniendo la misma forma de la placa y el mismo diámetro de los barrenos.

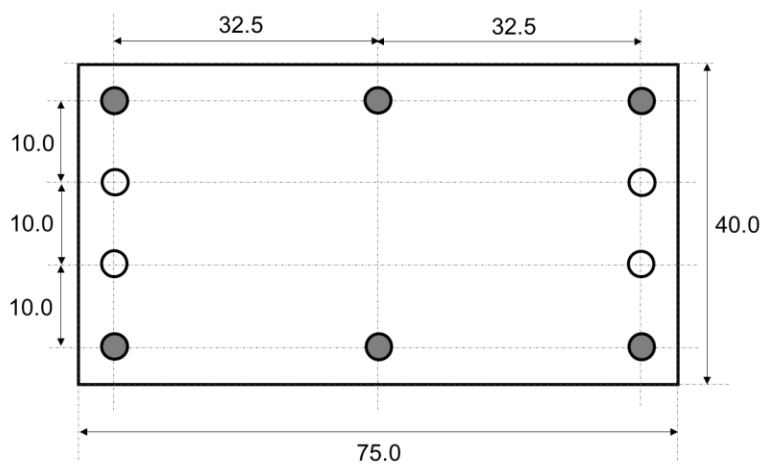


Imagen 4.5.1.7. Placa base con perforaciones originales

En el mapa conceptual, la lectura es la siguiente:

Tal como está diseñada estructuralmente la placa, se encontró que no se cumplía con los requisitos de estados límites de falla y de servicio, mencionados en el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal. En la imagen 4.5.1.8., se representa con el incumplimiento de la expresión indicada ( $f. adm. \geq f. sol.$ ). Así que, se procedió a aplicar una hipótesis de trabajo diferente, sin alterar la geometría ni la resistencia considerada.

El ingeniero calculista reubicó las perforaciones y las respectivas anclas, según se presentan en la imagen 4.5.1.9.

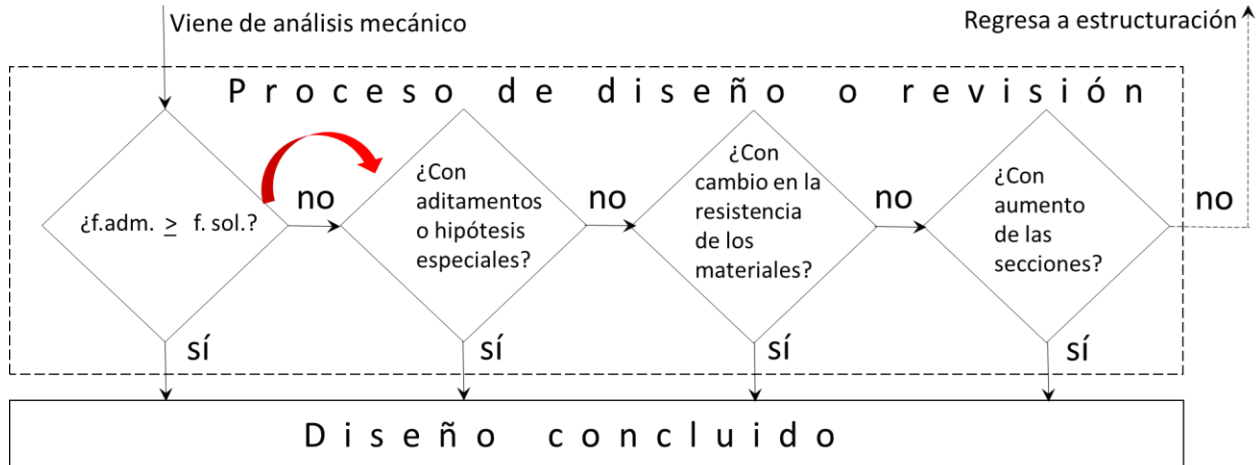


Imagen 4.5.1.8. Retroalimentación en los flujos estructurales

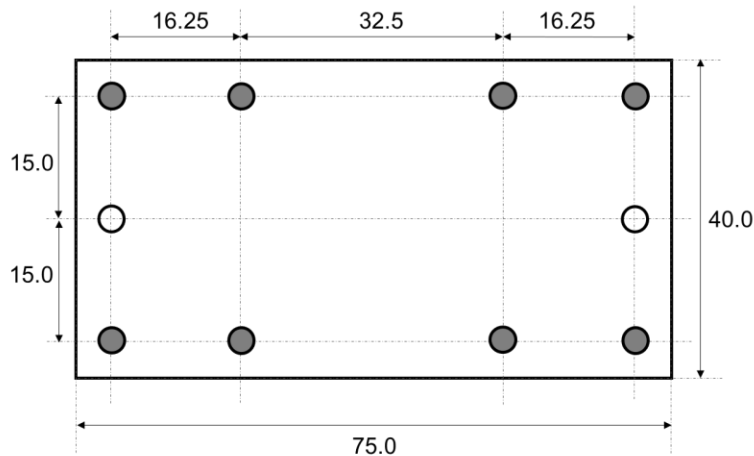


Imagen 4.5.1.9. Placa base con perforaciones producto de la retroalimentación

Se volvió a hacer la revisión correspondiente (f. adm.  $\geq$  f. sol.), misma que ahora sí se cumplió. Por lo que pudo concluirse, en este caso, que el diseño estructural del elemento fue concluido de manera satisfactoria.

En la imagen 4.5.1.10. se resume la retroalimentación del microflujo, la cual fue el resultado de la interacción profesional entre las autoridades del Iife DF y los técnicos partícipes, en este caso, el arquitecto y el ingeniero calculista.

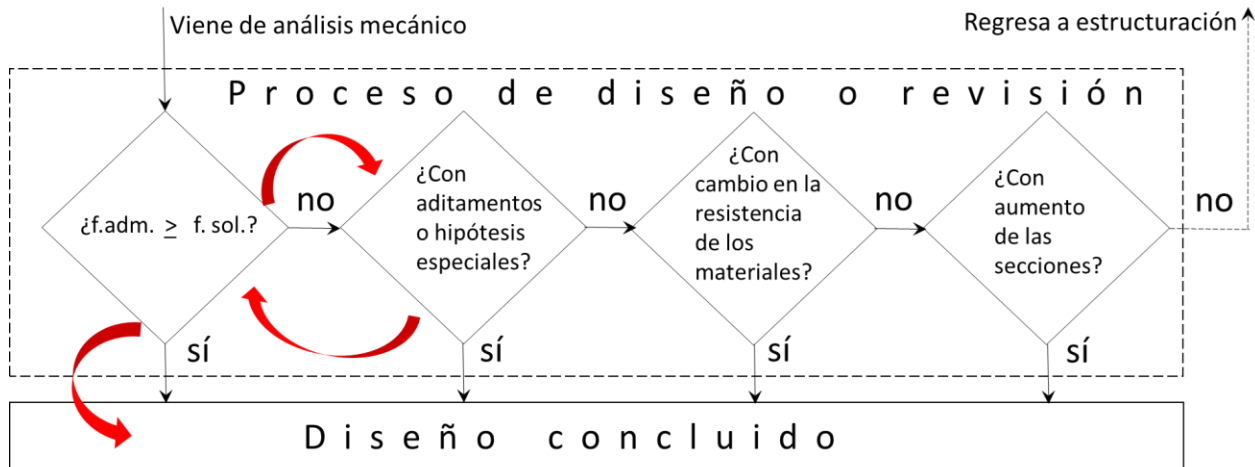


Imagen 4.5.1.10. Retroalimentación en los flujos estructurales

## 4.5.2 Primera aplicación de herramientas de antifragilidad

**4.5.2.1 Primera lectura.** En la que el origen del cambio, si se considera la solicitud del usuario o cliente, no se considera un estresor, propiamente dicho,

Origen del cambio o de la revisión	
(4)	Solicitud del usuario o cliente

Frecuencia de modificaciones producidas por cambios y/o revisiones	
(3)	Esporádicamente

Calidad de los retornos	
(6)	Reparación y/o Reforzamiento (adquisición de mayor resistencia)

Para que se dé la propiedad de antifragilidad, por lo menos dos de las aplicaciones deben obtener la calificación antifrágil (de 6 puntos o más).

Este análisis arroja que, aunque el retorno sí califica, el origen y la frecuencia, no; por lo que, con este enfoque, el ejercicio de revisión realizado no se considera antifrágil.

4.5.2.2 **Segunda lectura.** En la que el origen del cambio, aparte de ser un requisito de diseño, es un modelado del elemento, en función del inminente sismo próximo, que afectará el inmueble, según la clasificación estipulada en 4.4.4.1.

	Intensidad de Fenómeno perturbador de origen físico	Sismo
(10)	Sismo con afectación de elementos estructurales.	
(8)	Sismo con afectación de elementos arquitectónicos no estructurales.	
(6)	Sismo con afectación y/o caída de objetos no arquitectónicos.	

y, en el entendido de que, la calidad del retorno, será el siguiente

	Calidad de los retornos
(6)	Reparación y/o Reforzamiento (adquisición de mayor resistencia)

el análisis, mediante esta lectura, al calificar, tanto la intensidad como el retorno, establece la calidad y propiedad de antifrágil.

### 4.5.3 Antifragilidad en el Tejido Social

En virtud de los impedimentos producidos por la reclusión domiciliaria durante la ejecución de la investigación, se propone una Hoja de Ruta de revisión antifrágil, a partir del conocimiento adquirido, así como de la estructuración del mismo, aplicado al entorno físico social del Instituto Tecnológico de Milpa Alta II y el enfoque tendrá las características enunciadas en 3.1.3.

La antifragilidad se da al lograr el fortalecimiento del tejido social después de ocurrido un evento sísmico y gracias al objeto arquitectónico.

A partir del uso del inmueble, según la imagen 3.1.1., se tiene la posesión, el posible

deterioro y su evaluación constante, así como las labores de mantenimiento para la correcta conservación del inmueble.

Se aplica el suceso sísmico acaecido el 19 de septiembre de 2017.

Luego entonces, en el entendido de que, hasta ahora, el inmueble no adquiere mayor robustez o reforzamiento después de un estresor, se buscará que esta propiedad de antifragilidad se logre en el entorno social.



Imagen 4.5.3.1. Hoja de ruta (modelo del autor) <sup>17</sup>

El modelo toma como punto de partida la hoja de ruta para escuelas seguras y resilientes (ver imagen 1.3.2.1), con la que se ha creado la hoja de ruta modelo de la imagen 4.5.3.1., en donde puede ocurrir lo siguiente:

<sup>17</sup> Fuente de las imágenes:

- (1) <https://www.crushpixel.com/big-static10/preview4/school-building-icon-594860.jpg>
- (2) <http://www.itzitacuaro.edu.mx/MANTENIMIENTO/>
- (3) [https://st2.depositphotos.com/3764095/8372/v/600/depositphotos\\_83727666-stock-illustration-bustling-cities.jpg](https://st2.depositphotos.com/3764095/8372/v/600/depositphotos_83727666-stock-illustration-bustling-cities.jpg)
- (4) <https://i.pinimg.com/236x/4a/a6/35/4aa635abd56d41845e0cae0d55f15217.jpg>
- (5) <https://previews.123rf.com/images/yliivdesign/yliivdesign1710/yliivdesign171004892/87716389-casa-despu%C3%A9s-de-un-rojo-digital-del-ic%C3%B3n-del-terremoto-para-cualquier-dise%C3%B1o-aislado-en-la-ilustraci%C3%B3n-del-vector-.jpg>
- (6) <https://www.construplot.com/calculo-estructural-y-diseno-hidrosanitario>
- (7) <https://previews.123rf.com/images/maxborovkov/maxborovkov1507/maxborovkov150700047/42720797-tejido-social-comunicaci%C3%B3n-red-fondo-poligonal-ilustraci%C3%B3n-del-vector-.jpg>

1. Conservación y mantenimiento. Como todo edificio educativo, se observa un programa de conservación y mantenimiento.
2. Ocurrencia del estresor sísmico. Durante el evento, se aplican los protocolos establecidos por la Secretaría de Educación Pública, a través de las disposiciones del Inifed.
3. Revisión técnica. La que se efectúa con base al esquema de planeación (ver imagen 4.4.1.1.).
4. Evaluación de daños. Realizada con base a la estructura del programa interno (ver imagen 4.4.1.2.)
5. Sistema estructural del inmueble. Tanto su resistencia como el uso inmediato, demuestran un comportamiento resiliente que ha soportado fehacientemente los embates del estresor, en todos los términos
6. Evaluación del tejido social. El comportamiento del edificio brinda una seguridad a su entorno social, con lo que todo el contexto se ve fortalecido, precisamente después de la ocurrencia del percance telúrico.
7. Sistema antifrágil. En este caso, no se daría una retroalimentación en el proceso, propiamente dicha, sino una lectura del suceso secuencial a partir de la fortaleza adquirida en el tejido social, con todo lo que esto implica.
8. En el modelo se demuestran varios principios, como por ejemplo el de que los entornos urbanos son más susceptibles de los riesgos de desastres, que los rurales o semi rurales.



#### 4.5.4 Segunda aplicación de herramientas de antifragilidad

Intensidad de Fenómeno perturbador de origen físico	Sismo
(6)	Sismo con afectación y/o caída de objetos no arquitectónicos.

Origen del cambio o de la revisión	
(0)	Parte del proceso proyectual

Calidad de los retornos	
(10)	Robustez adquirida (mayor resistencia sin intervención externa)

Para que se dé la propiedad de antifragilidad, por lo menos dos de las aplicaciones deben obtener la calificación antifrágil (de 6 puntos o más).

Este análisis arroja que, la intensidad sí califica, lo mismo que el retorno, por lo que, el ejercicio de revisión realizado sí se considera antifrágil.

Lo más importante, desde la perspectiva de la antifragilidad, es que, en efecto, es posible el retorno robusto, después de la ocurrencia del evento sísmico.

#### 4.5.5 Propuesta gráfica (cultura de prevención)

Como parte fundamental de las acciones preventivas, dentro del programa interno de protección civil, se encuentra el rubro de la señalización (ver 4.4.1.2.). Ésta debe fijarse en la mayor cantidad posible de sitios, que sea visible y legible en cualquier actividad a desarrollar. Es altamente recomendable que esté en constante revisión y actualización, en función del aprendizaje durante eventos reales o simulacros.

Dado que, serían aconsejables protocolos de seguridad para casos de emergencia con periodicidades más breves a las actuales, se sugiere que tengan una mayor utilidad, evaluando cada simulación o simulacro de forma metódica.

Así, los contenidos y diseños, podrán responder a los contextos sociales determinados en ambientaciones precisas. Dentro de las características de la moderna señalética, es conveniente que exista el predominio de la imagen por sobre el texto.

Se requiere que la narrativa se dé con instrumentos más gráficos.

A partir de lo sugerido en el libro Sismos, información práctica (González, 2019, pág. 39), que se publicó precisamente después de los eventos telúricos de septiembre de 2017, se ha creado el siguiente cartel.



Imagen 4.5.5.1. Propuesta piloto de cartel preventivo. (modelo y dibujos del autor)

#### 4.5.6 Tercera aplicación de herramientas de antifragilidad

Intensidad de Fenómeno perturbador de origen físico		Sismo
(10)	Sismo con afectación de elementos estructurales.	
(8)	Sismo con afectación de elementos arquitectónicos no estructurales.	
(6)	Sismo con afectación y/o caída de objetos no arquitectónicos.	

Origen del cambio o de la revisión	
(0)	Parte del proceso proyectual

Calidad de los retornos	
(10)	Robustez adquirida (mayor resistencia sin intervención externa)

Para que se dé la propiedad de antifragilidad, por lo menos dos de las aplicaciones deben obtener la calificación antifrágil (de 6 puntos o más).

Este análisis arroja que, la intensidad sí califica, lo mismo que el retorno, por lo que, el ejercicio de revisión realizado sí se considera antifrágil.

El cartel piloto puede reproducirse en todo el edificio, con las modificaciones pertinentes que se requieran, en función del programa interno de protección civil y de la experiencia producida por simulacros revisados y/o eventos estresores.

## **5 CONCLUSIONES, APORTACIONES Y RECOMENDACIONES**

---

La antifragilidad es una capacidad que puede existir en todo ente, sólo es cosa de ir entendiendo vínculos, tal vez desenmarañar añejas definiciones, para darles novedosos significados, aparte de contemporáneos y útiles, acordes a la o las interconexiones establecidas durante los procesos de gestión.

En este sentido, la capacidad de robustecimiento del objeto arquitectónico bien podría estar en función, tanto del enfoque con el que se aproxime a la problemática, como del conjunto de disciplinas que intervengan en la gestación proyectual, por lo que, las interconexiones propuestas dentro del proceso de diseño, pueden permitir la presencia profesional de grupos coadyuvantes en torno a un fin común urbano arquitectónico.

La apertura de pensamiento manifestada a lo largo del documento, prevé la modificación del centralismo y permite generar brazos o extensiones hacia otras áreas de oportunidad, quizás inexistentes. En ese caso, será inevitable dar respuestas, ahora sí, complejas.

La gestión de riesgos y el proceso de diseño arquitectónico, pueden auxiliarse, como principio metodológico de la antifragilidad, al encontrar el esclarecimiento integral de las múltiples posibilidades de interpretación.

A partir de Taleb, con la aportación que ha otorgado el recorrido investigativo, podría decirse que la antifragilidad es la capacidad de respuesta positiva ante adversidades de toda índole, la cual podrá ser amplia o restringida (limitada), siempre en interdependencia con el conjunto de disciplinas partícipes en el análisis específico. Ahora bien, en el terreno de la gestión de riesgos sísmicos, hay herramientas disponibles para afrontar

científicamente las irrupciones terrenas, en cuanto a magnitudes y aceleraciones, y , con ello, se puede aportar en cada componente del espectro.

La antifragilidad podría contribuir, más que a mitigar, a elaborar caminos en los que la interdisciplina genere sus propias herramientas metodológicas.

En la previsión o preparación constante ante los eventos de perturbación sísmicos, en interacción con situaciones de gobernanza, es factible elaborar guías y manuales que coadyuven a las respuestas internas, tanto de protección civil, como de preservación.

En la tesis se contribuye con un modelo de cartel preventivo, que es el resultado, tanto de la línea de investigación, como de la formación profesional, que el autor ha conseguido durante los últimos años de su existencia.

En el ámbito normativo y de la protección civil, si bien las características estatutarias de los Directores Responsables de Obra y Corresponsables, no han respondido a una medida estricta (siempre después de un evento sísmico de consideración, con magnitud superior a los 7°), sí se han visto fortalecidas.

Por otro lado, después del terremoto de 1985, la Ciudad de México ha experimentado una de las máximas experiencias de carácter antifrágil. De la delimitación de alturas en los edificios emplazados en suelos lacustres, hubo un reforzamiento, tanto en la normatividad, como en los propios edificios altos, los que han mostrado un cúmulo de alternativas de solución en cuanto a posibilidades de impedimento y mitigación de los movimientos horizontales provocados por el sismo y el viento.

De ahí que, en el estresor provocado por los sismos de 2017, los daños a la infraestructura urbana hayan sido menores.

Las características convergentes que podrían coadyuvar a superar la crisis por la que atraviesa la contratación del profesional de la arquitectura, probablemente encontrarán cobijo en los conceptos de sostenibilidad, habitabilidad, factibilidad e inclusión, que están bien identificados en el Plan de estudios vigente de la licenciatura en la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Se propone partir de la sostenibilidad como eje rector de los temas transversales, al concebirse desde el entendimiento y lectura del sitio, sus condicionantes físicos ambientales, así como del paisaje que el ser humano ha modificado e impactado (UNAM. Facultad de Arquitectura, 2017, pág. 51). La habitabilidad espacial se vincula con la sostenibilidad social en las obras arquitectónicas y establece una relación con el entorno territorial, paisajístico y ambiental al facilitar una nueva lectura, diseño y construcción de espacios de interacción social, lo que puede impactar en la formación del arquitecto bajo una perspectiva holística y amplia ante la complejidad de los fenómenos sociales y urbanos (UNAM. Facultad de Arquitectura, 2017, pág. 50).

La arquitectura busca dotar al ser humano de espacios funcionales y confortables; sin embargo, su viabilidad puede verse seriamente comprometida al no estar asentada en un escenario de realidad; por ello, la factibilidad debe tener presencia en todas las áreas y asignaturas del plan de estudios y no tan solo en las enfocadas a la tecnología, que es el área que tradicionalmente aborda los aspectos económico, técnico y financiero de las construcciones. El tema de factibilidad tiene un papel significativo al relacionar dichos aspectos con el proceso proyectual. (UNAM. Facultad de Arquitectura, 2017, pág. 52)

Una de las principales aportaciones de esta investigación, se concibe al considerar que, el colectivo social es un ente integral, donde intervienen factores humanos, emocionales

y socioeconómicos, de aquí que se conciba a la rigidez-robustez integral como la capacidad antifrágil de apoyo a la comunidad, para que ésta, en su tejido social, se vea reforzada (o robustecida) en el regreso, después de sufrir un determinado estresor.

“La arquitectura tiene un importante papel en la construcción de una sociedad igualitaria por lo que debe pensarse en función de la inclusión generalizada de todos los grupos, sin distinguir entre capacidades diferentes, variables de género, edad, credo o condición socio económica”. (UNAM. Facultad de Arquitectura, 2017, pág. 52 y 53)

Al tiempo que son varias las perspectivas que se han mostrado para abordar la arquitectura, de igual manera pueden ser también diversas para vincular a la antifragilidad con la arquitectura y con la gestión de riesgos sísmicos, lo que, de igual manera, genera múltiples formas de incursionar en cada parte procesal. De aquí que, quien desee retomar uno de los bastiones apenas abiertos o esbozados en esta tesis, deberá establecer de forma asertiva, pero no limitativa, el estado del arte o marco teórico respectivo.

En otras palabras, este trabajo permite el seguimiento y la apertura de nuevas líneas de investigación, principalmente en torno a los aspectos de índole estructural en los sistemas complejos, pues, aunque el autor no incursionó formalmente en este contexto analítico, hay ya propuestas que, pretenden mostrar las bases del diseño complejo, por ejemplo, para la vulnerabilidad y el riesgo en megaciudades (Platas, 2020). Justamente allí, Platas aclara que, los resultados obtenidos, son el arranque de una investigación de un grupo multidisciplinar con una metodología interdisciplinaria. (Platas, 2020)

Cuando se tenga que abordar el campo eminentemente arquitectónico, invariablemente se deberá re pensar en la interdisciplinariedad, no nada más en la propia e histórica de

la interacción arquitecto-ingeniero, sino en la más reciente y necesaria del arquitecto con infinidad de disciplinas tendientes a la obtención de niveles de excelencia en la ejecución de obras urbanas, para cubrir todo tipo de compromisos.

Toda retroalimentación que se dé en los procesos puede ser antifrágil. Se adquiere esta calidad siempre que las nuevas soluciones porten reforzamientos ante un agente de perturbación. En este punto, al realizarse una proyección libre del esquema de riesgo, se otorgó la calidad de amenaza a cuanto evento que intervenga de forma negativa en el proceso arquitectónico y, de vulnerabilidad, a la falla en la respuesta profesional, ya sea por falta de preparación o por cualquier otro motivo. De ahí que puedan abrirse vastas interconexiones entre arquitectura y antifragilidad.

En el ámbito de las tecnologías, en el entendido del objetivo que persigue este campo de conocimiento (ya ha quedado demostrado), es evidente la generación de conocimientos técnicos e innovadores relacionados con la arquitectura, los cuales podrán ser utilizados de modo óptimo en la planeación, la toma de decisiones y ejecución de proyectos tecnológicos arquitectónicos diseñados con principios éticos que respondan a las demandas y requerimientos sociales del país. (UNAM Posgrado Arquitectura, 2020)

Durante el año 2021, por ejemplo, derivado del estresor producido por la pandemia, el autor aplicó conceptos de antifragilidad en la enseñanza del Taller de Construcción en la Facultad de Arquitectura de la U.N.A.M. Dicha experiencia fue publicada en la Revista Academia XXII (González, 2021).<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup> Es importante destacar que, los editores de la revista, querían escribir anti fragilidad en dos palabras, por lo que el autor tuvo que defender y argumentar, la ya aceptación en el entorno académico y científico, de antifragilidad en una sola y, para beneplácito de esta investigación, así se publicó.



En cuanto al objeto de estudio de la presente tesis, al involucrar a las autoridades educativas del INIFED, en interacción con los técnicos revisores, se puede concluir que, el proyecto del Tecnológico de Milpa Alta II, cumple a cabalidad con la normativa vigente; pero, lo más importante, que se realizó una lectura de carácter antifrágil en la retroalimentación de los microflujos.

Asimismo, el modelo expuesto, demostró, desde la perspectiva de la antifragilidad, que, en efecto, es posible realizar un retorno reforzado del tejido social, después de ocurrido un estresor sísmico.

Los conceptos de antifragilidad aquí manejados, si bien no generaron necesariamente nuevas matrices, sí propusieron reacomodos en los conceptos utilizados de gestión de riesgos, con los que pudo darse una relectura en las retroalimentaciones diagramadas.

En un ejercicio de valoración subjetiva, la tesis aporta en varios campos: primero, en el arquitectónico, que es el marco principal de acción, al ofrecer innovaciones en cuanto a las lecturas del proceso proyectual; en segunda instancia, en el ámbito de la gestión de riesgos sísmicos, al incorporar la propiedad de antifrágil, como una importante variante de la resiliencia y; por último, en la metodología en sí, al transitar por rumbos diversos que, en apariencia, no podrían converger y que, al final, se conectaron ampliamente, incursionando, no nada más desde una perspectiva ingenieril, en relación con la estructura de un inmueble, sino también en el ámbito de la gobernanza e incluso sociocultural, generando en la comunidad un sistema antifrágil.

## 6 REFERENCIAS

---

- Alcántara Nolasco, L., & Valdés González, C. (s.f.). *Revista Digital UNAM*. Obtenido de La observación sísmica en la UNAM y su integración a la Red Sísmica Mexicana: <https://www.oei.es/historico/divulgacioncientifica/reportajes054.htm>
- Alerta sísmica Sasmex. (12 de enero de 2021). @Sasmex. Obtenido de Twitter: <https://twitter.com/SASMEX/status/1349097254116859906/photo/1>
- Arquitectura Sostenible Resiliente*. (6 de Septiembre de 2018). Obtenido de Arquitectura Sostenible Resiliente: <https://arquitectura-sostenible.es/arquitectura-sostenible-resiliente/>
- Aven, T. (2015). El concepto de antifragilidad y sus implicaciones para la práctica del análisis de riesgos. *Risk Analysis*, Vol. 35.
- Axa México. (25 de Junio de 2020). Obtenido de Fundación AXA México: <https://fundacionaxa.org.mx/resiliencia-y-prevencion-del-riesgo/#:~:text=La%20resiliencia%2C%20de%20acuerdo%20con,sus%20estructuras%20y%20funciones%20b%C3%A1sicas%E2%80%9D>.
- Betancourt Posada, A., & Chhaya, N. (noviembre de 2019). Arquitectura, neoliberalismo y psicogeografía. *Conversatorio*. México, México: UNAM.
- Bruneau, M. y. (Noviembre de 2003). *Earthquake Spectra*. Obtenido de Earthq Spectra Er: [https://www.researchgate.net/publication/241144902\\_A\\_Framework\\_to\\_Quantitatively\\_Assess\\_and\\_Enhance\\_the\\_Seismic\\_Resilience\\_of\\_Communities](https://www.researchgate.net/publication/241144902_A_Framework_to_Quantitatively_Assess_and_Enhance_the_Seismic_Resilience_of_Communities)
- Cip. (30 de junio de 2020). Obtenido de Cipromex, Cimentaciones Profundas Mexicanas: <https://images.app.goo.gl/UfeBWpu96uCMdWyr9>
- Construplot*. (2021). Obtenido de CÁLCULO ESTRUCTURAL Y DISEÑO HIDROSANITARIO: <https://www.construplot.com/calculo-estructural-y-diseno-hidrosanitario>
- Debord, G. (1999). *Teoría de la deriva*. Obtenido de Texto aparecido en el # 2 de Internationale Situationniste en 1958. Internacional situacionista, vol. I: La realización del arte, Madrid, Literatura Gris: <https://www.ugr.es/~silvia/documentos%20colgados/IDEA/teoria%20de%20la%20deriva.pdf>
- Diario de México*. (20 de Diciembre de 2019). Obtenido de Lo que no sabías del World Trade Center: <https://www.ddmbj.mx/lo-que-no-sabias-del-world-trade-center>
- DOF. (10 de junio de 1921). *Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México*. México, Distrito Federal, México: Diario Oficial de la Federación.
- DOF. (23 de julio de 1942). *Reglamento de las Construcciones y de los Servicios Públicos en el Distrito Federal*. México, Distrito Federal, México: Diario Oficial de la Federación.
- DOF. (24 de enero de 1966). *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. México, Distrito Federal, México: Diario Oficial de la Federación.
- DOF. (14 de diciembre de 1976). *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. México, Distrito Federal, México: Diario Oficial de la Federación.

- DOF. (3 de julio de 1987). *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. México, Distrito Federal, México: Diario Oficial de la Federación.
- DOF. (23 de Octubre de 2018). *NOM-035-STPS-2018*. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación.
- Egea-Jiménez, D. S.-G. (septiembre de 2011). *Scielo. Egea*. Obtenido de Enfoque de vulnerabilidad social para investigar las desventajas socioambientales. Su aplicación en el estudio de los adultos mayores:  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-74252011000300006](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-74252011000300006)
- Equihua Zamora, M., Espinosa, M., Gershenson, C., López-Corona, O., Munguía, M., Pérez-Maqueo, O., & Ramírez-Carrillo, E. (2019). *Antifragilidad del ecosistema: más allá de la integridad y la resiliencia*. Obtenido de Preprints de PeerJ 7 : e27813v1:  
<https://peerj.com/preprints/27813/>
- Equihua, M., Espinosa Aldama, M., Gershenson, C., López-Carmona, O., Munguía, M., Pérez-Maqueo, O., & Ramírez-Carrillo, E. (11 de Febrero de 2020). *Biblioteca Nacional de Medicina de EE. UU*. Obtenido de Antifragilidad del ecosistema: más allá de la integridad y la resiliencia: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7020813/>
- Equihua, M., Espinoza Aldama, M., Gershenson, C., López-Corona, O., Munguía, M., Pérez-Maqueo, O., & Ramírez-Carrillo, E. (11 de Febrero de 2020). *Ecosystem antifragility: beyond integrity and resilience*. Obtenido de <https://peerj.com/articles/8533/>
- Fundación UNAM*. (s.f.). Obtenido de Academia de San Carlos:  
<https://www.fundacionunam.org.mx/academia-de-san-carlos/>
- Gaceta DF. (29 de enero de 2004). *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. México, Distrito Federal, México: Gaceta Oficial del Distrito Federal.
- Gaceta DF. (15 de diciembre de 2017). *Norma Técnica Complementaria para la Revisión de la Seguridad Estructural de las Edificaciones. (NTC-RSEE)*. México, México: Gaceta Oficial del Distrito Federal.
- Galeano, E. (2 de julio de 2020). *El derecho al delirio*. Obtenido de <https://www.facebook.com/CalmaPueblo.Medio/videos/664465427674948/?vh=e>
- Gálvez, M. (20 de Abril de 2021). *El país. Arquitectura*. Obtenido de Así se construyó (hace más de seis décadas) el primer rascacielos del mundo a prueba de terremotos:  
<https://elpais.com/icon-design/arquitectura/2021-04-20/asi-se-construyo-hace-mas-de-seis-decadas-el-primer-rascacielos-del-mundo-a-prueba-de-terremotos.html>
- García Acosta, V. (diciembre de 2005). *Scielo*. Obtenido de Vulnerabilidad social, riesgo y desastres: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1607-050X2005000300001](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1607-050X2005000300001)
- Gobierno de la Ciudad de México*. (6 de Marzo de 2021). Obtenido de Solicitud de Registro de Tercero Acreditado: <http://data.proteccioncivil.cdmx.gob.mx/tys/TercerosAcreditados.html>
- González Tejeda, I. (1993). *Guía arquitectónica*. México, D.F.: Noriega-Limusa.
- González Tejeda, I. (2019). *Sismos. Información práctica*. México: Instituto Politécnico Nacional.

- González Tejada, I. (2020). *Análisis de Estructuras Arquitectónicas. Mecánica de materiales y análisis de sistemas hiperestáticos*. México: Trillas.
- González Tejada, I. (2021). *Revista Academia XXII de la Universidad Nacional Autónoma de México*. Obtenido de Pandemia y antifragilidad: La enseñanza en el taller de construcción: <http://dx.doi.org/10.22201/fa.2007252Xp.2021.23.80066>
- Gunderson, Lance H, Craig R. Allen and C.S. Holling. (2014). *Foundations of Ecological Resilience*. Washington, D.C. Island Press.
- Guía metodológica riesgos*. (2019). Ciudad de México: Estrategia municipal de gestión integral de riesgos de desastres. Gobierno de México. Sedatu. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano.
- Hamburger, R. O. (25 de Julio de 2014). *Tenth U.S. National Conference on Earthquake Engineering Frontiers of Earthquake Engineering*. Obtenido de FEMA P58 SEISMIC PERFORMANCE ASSESSMENT OF BUILDINGS : <http://b-dig.iie.org.mx/bibdig2/P14-0291/10NCEE-000492.pdf>
- Hemingway, E. (1929). *A Farewell to Arms*. New York: Charles Scribner's Sons.
- Hernández, A. J., Urcelai, A., & Pastor, J. (14 de Junio de 2002). *Actas de la II Reunión Española de Ciencia de Sistemas celebrada en Valencia en la Universidad Internacional Menéndez y Pelayo*. Obtenido de EVALUACIÓN DE LA RESILIENCIA EN ECOSISTEMAS TERRESTRES DEGRADADOS ENCAMINADA A LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/53881/1/ciudadysocied2002847.pdf>
- Holling, C. (1973). *Resilience and stability of ecological systems*. *En Annual Review of Ecology*.
- Holling, C., Walter, B., Carpenter, S., & Kinzing, A. (2004). *Adaptabilidad y transformabilidad en sistemas socioecológicos*. Obtenido de doi: 10.5751 / ES-00650-090205
- Icorp blog*. (julio de 2018). Obtenido de <http://www.icornp.com.mx/blog/wp-content/uploads/2018/07/risk-management-process-header@2x-713x330.jpg>
- Johnson, J., & Gheorghe, A. V. (2013). *Int. J. Disaster Risk Sci. Vol. 4, No. 4, 2013*. Obtenido de Marco referencial de análisis y medición de antifragilidad para sistemas de sistemas: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s13753-013-0017-7.pdf>
- Katz, C. (22 de septiembre de 2014). *Neoliberales en América Latina I*. Obtenido de Ortodoxos y convencionales.: [http://www.cadtm.org/spip.php?page=imprimer&id\\_article=10682](http://www.cadtm.org/spip.php?page=imprimer&id_article=10682)
- Katz, C. (2014). *Transformaciones de la era neoliberal. Nuestra visión de la etapa*. Buenos Aires: Realidad Económica. Número 284.
- Kim, H., Muñoz, S., Osuna, P., & Gershenson, C. (4 de Septiembre de 2020). *Entropy. Nuevos avances de complejidad*. Obtenido de La antifragilidad predice la robustez y la capacidad de evolución de las redes biológicas a través de la clasificación de clases múltiples con una red neuronal convolucional : <https://www.mdpi.com/1099-4300/22/9/986/htm>
- La torre de Pemex*. (2018). Obtenido de Gobierno de México. Pemex: <https://www.facebook.com/Pemex/posts/908077206006021/>

- Lazos, P. (6 de Mayo de 2015). *Arquine*. Obtenido de 35 años sin Robert Moses y 8 sin Mother Jacobs: <https://www.arquine.com/35-anos-sin-robert-moses-y-8-sin-mother-jacobs/>
- López, P. (17 de Octubre de 2019). *Gaceta UNAM*. Obtenido de Conferencia magistral de Roberto Meli Piralla. Sismos en CdMx han incrementado. Investigación y normatividad: <https://www.gaceta.unam.mx/sismos-en-cdmx-han-incrementado-investigacion-y-normatividad/>
- Manjarrez Carrillo, N. N. (2017). Obtenido de Neoliberalismo en México ¿Bueno o malo?: <http://bajo.delasalle.edu.mx/revistas/ktarsis/articulo.php?a=52>
- Mapa. (s.f.). Obtenido de <https://images.app.goo.gl/9sbJU1bYLizzcFW1A>
- Matos, E. (2018). *Revista Arqueología Mexicana No. 149*. Obtenido de <https://arqueologiamexicana.mx/mexico-antiguo/las-inundaciones-de-tenochtitlan>
- Mayes, R. L., & Reis, E. (Mayo de 2017). *Community resilience and the U.S. Resiliency Council's Building Rating System*. Obtenido de Resiliencia comunitaria y el sistema de calificación de edificios del Consejo de Resiliencia de EE. UU.: [https://www.researchgate.net/publication/333825552\\_Community\\_resilience\\_and\\_the\\_US\\_Resiliency\\_Council's\\_Building\\_Rating\\_System](https://www.researchgate.net/publication/333825552_Community_resilience_and_the_US_Resiliency_Council's_Building_Rating_System)
- México en fotos*. (s.f.). Obtenido de <https://www.mexicoenfotos.com/MX14159775489623.jpg>
- Milpa Alta*. (2014). Obtenido de Mapa de riesgos: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi9hbL1xoLuAhUCHq>
- NTC Sismo. (2017). *Normas Técnicas Complementarias para diseño por sismo*. México, México.
- ONU. EIRD. Las Américas. (31 de marzo de 2004). *EIRD*. Obtenido de Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres: <https://www.eird.org/esp/terminologia-esp.htm>
- Ordaz, M. (11 de septiembre de 2018). *Instituto de Ingeniería de la UNAM – iinam –*. Obtenido de Las Normas de Construcción en la Ciudad de México. Especial Sismos - Rumbo a una cultura de prevención con el Dr. Mario Ordaz Schroeder: <https://www.facebook.com/InstitutoIngenieriaUNAM/videos/473717679778680/>
- Pérez-Duarte Fernández, A. (Abril de 1946). *Evolución de la mancha urbana de la Ciudad de México desde 1521 a 1946*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Evolucion-de-la-mancha-urbana-de-la-Ciudad-de-Mexico-desde-1521-a-1946-Fuente\\_fig1\\_28063620](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Evolucion-de-la-mancha-urbana-de-la-Ciudad-de-Mexico-desde-1521-a-1946-Fuente_fig1_28063620)
- Peschard, E. (1979). *Resistencia de Materiales*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pineda, O. K., Hyobin, K., & Carlos, G. (2019). *Redes booleanas y sus aplicaciones en ciencia e ingeniería*. Obtenido de Una nueva medida antifragilidad basada en la satisfacción y su aplicación a redes booleanas aleatorias y biológicas: <https://www.hindawi.com/journals/complexity/2019/3728621/>

- Platas, F. (2004). Prólogo. En *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. México: Trillas.
- Platas, F. (2020). *Revista Academia XXII de la Universidad Nacional Autónoma de México*. Obtenido de Diseño complejo para la vulnerabilidad y el riesgo en megaciudades: <http://dx.doi.org/10.22201/fa.2007252Xp.2020.21.76676>
- Platas, F. (2021). *Fundamentos metodológicos del diseño desde la complejidad: El pensamiento complejo de Edgar Morin*. UCESDG [Internet]. 1sep.2020 [citado 30 ago.2021];(14). Available from: <https://publicacionescientificas.uces.edu.ar/index.php/disgraf/article/view/883>
- Ponce, V. M. (6 de Junio de 2008). *La matriz de Leopold*. Obtenido de para la evaluación del impacto ambiental: [http://ponce.sdsu.edu/la\\_matriz\\_de\\_leopold.html](http://ponce.sdsu.edu/la_matriz_de_leopold.html)
- Programa general de protección civil de la alcaldía de Milpa Alta. Período 2018-2021*. Consejo de protección civil. Alcaldía de Milpa Alta.
- Programa Interno de Protección Civil. (febrero de 2019). *Elementos preventivos del PIPC*. México, México: Coordinación Nacional de Protección Civil.
- Protección Civil*. (2020). Obtenido de Dirección General de Protección Civil y Emergencias: <http://www.proteccioncivil.es/riesgos#:~:text=Seg%C3%BAn%20la%20terminolog%C3%ADa%20de%20la,en%20t%C3%A9rminos%20de%20vidas%2C%20las>
- Redi TM*. (1 de Julio de 2020). Obtenido de Rating System. Sistema de valoración o certificación en base a resiliencia: [https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/redi-rating-system.file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/REDi\\_Final%20Version\\_October%202013%20Arup%20Website.pdf](https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/redi-rating-system.file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/REDi_Final%20Version_October%202013%20Arup%20Website.pdf)
- Reglamento. (24 de Agosto de 2018). *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. México, México: Gaceta Oficial de la Ciudad de México.
- Riesgos y Desastres. (2014). *UNISDR. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (United Nations Office for Disaster Risk Reduction) o UNISDR, por sus siglas en inglés)*.
- Rigidez*. (17 de Septiembre de 2013). Obtenido de foto:descargarobinhood: <https://arucacoach.me/tag/rigidez/>
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. (2016). *Guía de Resiliencia Urbana*. Ciudad de México: SEDATU. Gobierno de la República.
- Servicio Sismológico Nacional*. (7 de Marzo de 2020). Obtenido de UNAM. Instituto de Geofísica: <http://www2.ssn.unam.mx:8080/estadisticas/>
- SMIE. (s.f.). *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C*. Obtenido de Ordaz Schroeder, Mario: <https://www.smie.org.mx/actividades/simposio-30-aniversario-sismos-septiembre-1985/archivos/mario-ordaz-schroeder-curriculum.pdf>
- Taleb, N. N. (2019). *Antifrágil. Las cosas que se benefician del desorden*. México: Paidós.

- TecNM.* (2019). Obtenido de Tecnológico Nacional de México Milpa Alta II:  
<http://www.itmilpaalta2.net/>
- Tecnológico TecNM.* (2020). Obtenido de Gobierno de México. Secretaría de Educación Pública:  
[https://www.tecnm.mx/?vista=MisionVision#:~:text=El%20TecNM%20es%20una%20insti%20tuci%C3%B3n,LA%20TORRE%20VEGA%20\(Martorrev\).](https://www.tecnm.mx/?vista=MisionVision#:~:text=El%20TecNM%20es%20una%20insti%20tuci%C3%B3n,LA%20TORRE%20VEGA%20(Martorrev).)
- Terán-Gilmore, A. (2020). Diseño sísmico basado en resiliencia. *Diseño sísmico basado en resiliencia*. México: Facultad de Arquitectura.
- The World Bank.* (2021). Obtenido de Global Program for Safer Schools (GPSS):  
<https://gps.worldbank.org/roadmap-step/school-infrastructure-baseline>
- UNAM Posgrado Arquitectura.* (2020). Obtenido de Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura:  
[http://www.posgrado.unam.mx/arquitectura/web/Maestria/Campos\\_conocimientos/Tecnologias/Objetivos/Objetivos.php](http://www.posgrado.unam.mx/arquitectura/web/Maestria/Campos_conocimientos/Tecnologias/Objetivos/Objetivos.php)
- UNAM. Facultad de Arquitectura.* (12 de Junio de 2017). Obtenido de Carrera de Arquitecto(a) Plan de Estudios 2017: <https://drive.google.com/file/d/0BxITq-awT2cFNfPdWpYVXNKNGc/view>
- Villasana, C., & Gómez, R. (11 de mayo de 2019). *México de Raíz*. Obtenido de <https://www.facebook.com/Mexderaiz/photos/a.1092153307605527/1296414400512749/?type=3>
- Zsarnóczay, Á., & Deierlein, G. G. (Septiembre de 2020). *PELICUN -A Computational Framework for Estimating Damage, Loss and Community Resilience*. Obtenido de Conference: 17th World Conference on Earthquake Engineering at: Sendai, Japan: [https://www.researchgate.net/publication/344803647\\_PELICUN\\_-\\_A\\_Computational\\_Framework\\_for\\_Estimating\\_Damage\\_Loss\\_and\\_Community\\_Resilience](https://www.researchgate.net/publication/344803647_PELICUN_-_A_Computational_Framework_for_Estimating_Damage_Loss_and_Community_Resilience)