

Capítulo 6

Vulnerabilidad y el riesgo desde una perspectiva holística

6.1. Propuesta conceptual

El riesgo es un concepto complejo y extraño, representa algo que parece irreal e inasible, que se ubica en un tiempo futuro como consecuencia de estar siempre relacionado con azar, con posibilidades, con algo que aun no ha sucedido t que puede no suceder. Su sentido tiene que ver con algo imaginario, algo escurridizo que se sitúa necesariamente en el futuro, con la carga de incertidumbre que ello implica. Si hay certeza no hay riesgo, así, el riesgo es algo en la mente, íntimamente ligado a la psicología personal o colectiva, aun cuando se intente a menudo darle un sentido de objetividad (Elms 1992). Otra razón por la cual el riesgo es un concepto complejo, es que se trata de una idea compuesta. En la noción de riesgo más completa, desde el punto de vista del autor, convergen simultáneamente tres aspectos separados: la eventualidad, las consecuencias y el contexto, que contribuyen a la hora de intentar llevar a cabo cualquier estimación o calificación del riesgo. En un análisis de riesgo, el contexto (capacidad de la gestión y actores relacionados) determina los límites, las razones, el propósito y las interacciones a considerar. Cualquier análisis que se realice debe ser congruente con el contexto y tenerlo en cuenta en todos los aspectos que le sean relevantes, de lo contrario el análisis sería totalmente inútil e irrelevante.

El análisis de riesgo se ha venido realizando a través de la historia de manera no formal en innumerables situaciones humanas. Riesgo ha estado siempre asociado a decisión, con algo que debe hacerse; con la ejecución de una acción que va desde lo trivial a lo muy importante. En cada caso se debe elegir una acción que se debe llevar a cabo. Los resultados de cada acción factible están en el futuro y son inciertos. Unos resultados pueden ser mejores que otros, en algunos casos serán buenos y en otros pueden ser desastrosos. El seleccionar una posible acción significa asumir una eventual adversidad o contingencia asociada a dicha acción. Por esta razón, el riesgo debe evaluarse para que se pueda tomar una decisión. Las discusiones acerca del riesgo tocan las raíces de la sociedad, el conocimiento, los valores, las emociones e incluso la propia existencia. Implican reflexionar acerca de qué es el conocimiento científico, de las limitaciones de ese conocimiento y del carácter irreductible de la incertidumbre; es preciso considerar los puntos de vista desde donde se argumenta, la racionalidad de qué

es a lo que se teme y la manera cómo se debe actuar. El tener que arreglarse con incertidumbres en el análisis de sistemas físicos llega a ser una de las circunstancias que define enfáticamente si un modelo dado es el apropiado para el problema que se tiene entre manos. Esto significa mudarse del concepto de verdad al concepto de control o de gestión, alejándose de la necesidad de obtener predicciones verdaderas de futuros escenarios, con o sin la estimación de incertidumbres, y moverse hacia la necesidad de controlar los futuros eventos, aceptando las inevitables contingencias en el entendimiento de que algo podría o no ocurrir. Esto está, obviamente, relacionado en forma directa con las conclusiones que se obtienen acerca de factores humanos. Por lo tanto, aunque la ciencia de la ingeniería pueda hacer algunas predicciones acerca de un riesgo, dichas predicciones serán inevitablemente parciales e incompletas y en consecuencia el énfasis debe estar en la gestión o manejo de la seguridad (Blockley 1992).

En los últimos años, desde la perspectiva de los desastres naturales, el riesgo se ha intentado dimensionar, para efectos de la gestión, como las posibles consecuencias económicas, sociales y ambientales que pueden ocurrir en un lugar y en un tiempo determinado. Sin embargo, el riesgo no ha sido conceptualizado de forma integral sino de manera fragmentada, de acuerdo con el enfoque de cada disciplina involucrada en su valoración. Para estimar el riesgo de acuerdo con su definición es necesario tener en cuenta, desde un punto de vista multidisciplinar, no solamente el daño físico esperado, las víctimas o pérdidas económicas equivalentes, sino también factores sociales, organizacionales e institucionales, relacionados con el desarrollo de las comunidades. En la escala urbana, por ejemplo, la vulnerabilidad como factor interno de riesgo, debe relacionarse no solamente con la exposición del contexto material o la susceptibilidad física de los elementos expuestos ha ser afectados, sino también con las fragilidades sociales y la falta de resiliencia de la comunidad propensa; es decir, su capacidad para responder o absorber el impacto. La deficiente información, comunicación y conocimiento entre los actores sociales, la ausencia de organización institucional y comunitaria, las debilidades en la preparación para la atención de emergencias, la inestabilidad política y la falta de salud económica en un área geográfica contribuyen a tener un mayor riesgo. Por lo tanto, las consecuencias potenciales no sólo están relacionadas con el impacto del suceso, sino también con la capacidad para soportar el impacto y las implicaciones del mismo respecto del área geográfica considerada.

Por otra parte, existen serias razones por las cuales se puede dudar acerca de la efectividad de la gestión del riesgo. El incremento y la acumulación de la vulnerabilidad son alarmantes, como lo es la falta de conciencia y responsabilidad sobre el tema por parte de los tomadores de decisiones, las autoridades políticas y la misma comunidad. Esto podría explicar el porqué aunque se realicen muchos estudios de amenaza, vulnerabilidad e incluso de riesgo desde el ámbito de diferentes disciplinas, en muchos lugares del mundo no se logra aun una intervención y gestión efectiva y decidida por parte de las autoridades y las comunidades que mitigue o reduzca el riesgo al cual se encuentran sometidas (Cardona y Hurtado 2000a/b).

Entre otros factores, que contribuyen a esta falta de efectividad de la gestión del riesgo, aparentemente, se encuentra la inadecuada forma como el riesgo ha sido estimado o valorado. Aportes técnicos importantes se han realizado con fines de evaluación, pero de manera reduccionista y fragmentada. La falta de una visión holística del riesgo, es decir, de una valoración integral y multidisciplinar del riesgo que permita

desagregarlo en sus componentes de diferente índole, parece haber contribuido en buena parte a la falta de efectividad de su gestión.

Una concepción holística del riesgo, consistente y coherente, fundamentada en los planteamientos teóricos de la complejidad, que tenga en cuenta no sólo variables geológicas y estructurales, sino también variables económicas, sociales, políticas, culturales o de otro tipo, podría facilitar y orientar la toma de decisiones en un área geográfica. Un enfoque de este tipo, integral y multidisciplinar podría tener en cuenta de manera más consistente las relaciones no lineales de los parámetros del contexto y la complejidad y dinámica de los sistemas sociales. Igualmente, contribuir a mejorar la efectividad de la gestión y a identificar y priorizar medidas factibles y eficientes de para la reducción del riesgo por parte de las autoridades y las comunidades; actores fundamentales para lograr una actitud preventiva ante los fenómenos peligrosos.

6.1.1. Dimensiones y tipos de vulnerabilidad

La vulnerabilidad, para el autor, puede tener varias dimensiones dependiendo del aspecto que se esté teniendo en cuenta para su análisis. Wilches-Chaux (1989) propuso el concepto de vulnerabilidad global para integrar los diferentes aspectos que caracterizan la vulnerabilidad desde varias perspectivas. Dichas dimensiones de la vulnerabilidad se describen a continuación brevemente:

- a) *Dimensión física*. Expresa las características de ubicación en áreas propensas y las deficiencias de resistencia de los elementos expuestos, de los que depende su capacidad de absorber la acción del suceso que representa la amenaza. La sismorresistencia de un edificio, la ubicación de una comunidad en el área de influencia de un deslizamiento o en el cauce de un río, son ejemplos de la dimensión física de la vulnerabilidad.



Foto 6.1: A la izquierda se aprecia un edificio nuevo en Colombia, construido por profesionales, que ha colapsado y a la derecha una casa informal sin mayores daños. En este caso, el edificio nuevo demostró ser más vulnerable que el informal.

- b) *Dimensión económica.* Los sectores económicamente más deprimidos son los más vulnerables. La pobreza aumenta la vulnerabilidad. Al nivel local e individual este aspecto se expresa en desempleo, insuficiencia de ingresos, dificultad o imposibilidad de acceso a los servicios. En la esfera nacional se traduce en una excesiva dependencia económica de factores externos incontrolables, la falta de diversificación de la base económica, las restricciones al comercio internacional y la imposición de políticas monetarias.
- c) *Dimensión social.* Cuanto más integrada esté una comunidad, superando los inconvenientes que suelen presentarse, le resultará más fácil absorber las consecuencias de un desastre y podrá reaccionar con mayor rapidez que una comunidad que no lo esté. Las sociedades pueden ser más o menos vulnerables en el sentido que pueden reaccionar como grupo organizado, mediante procesos de autoorganización, ó con intereses particulares primando sobre los grupales, con relaciones más estrechas entre sus integrantes, ó relaciones meramente circunstanciales.
- d) *Dimensión educativa.* Se expresa en una educación deficiente o que no tiene una buena cobertura en una comunidad propensa. La ausencia de conocimiento sobre las causas, los efectos y las razones por las cuales se presentan desastres, el desconocimiento de la historia y la falta de preparación y desconocimiento del comportamiento individual y colectivo en caso de desastre son aspectos que hacen que una comunidad sea más vulnerable. Igualmente, la falta de socialización de la información aumenta la vulnerabilidad.
- e) *Dimensión política.* Se expresa en el nivel de autonomía que tiene una comunidad con respecto a sus recursos y para la toma de decisiones que la afectan. La comunidad se hace más vulnerable bajo esquemas centralistas en la toma de decisiones y en la organización gubernamental. La debilidad en los niveles de autonomía para decidir regional o localmente impide una mayor adecuación de las acciones a los problemas sentidos en estos niveles territoriales. En la medida que la comunidad participa más en las decisiones que le atañen es menos vulnerable.
- f) *Dimensión institucional.* Esta relacionada con las dificultades que tienen las instituciones para hacer la gestión del riesgo. Situación que se refleja en la falta de preparación para responder ante un suceso, o cuando aún sabiendo que existe el riesgo no llevan a cabo acciones eficientes y efectivas para reducirlo o mitigarlo. Se expresa en la falta de flexibilidad de las instituciones, en el exceso de burocracia, en el hecho de que prevalecen la decisión política y el protagonismo.
- g) *Dimensión cultural.* Esta dimensión de la vulnerabilidad está referida a la forma en que los individuos se ven a sí mismos en la sociedad y como colectividad, lo que influye en ocasiones de manera negativa debido a estereotipos perniciosos que no se cuestionan y que se consolidan. Al respecto juegan un papel crucial los medios de comunicación, puesto que contribuyen a la utilización sesgada de imágenes o a la transmisión de información ligera o imprecisa sobre el medio ambiente, la misma sociedad y los desastres.
- h) *Dimensión ambiental.* Hay un aumento de la vulnerabilidad cuando el modelo de desarrollo no está basado en la convivencia sino en la explotación inadecuada y la destrucción de los recursos naturales. Esta circunstancia necesariamente conduce al

deterioro de los ecosistemas y a aumentar la vulnerabilidad debido a la incapacidad de auto ajustarse para compensar los efectos directos o indirectos de la acción humana o de sucesos de la misma naturaleza.

- i) Dimensión ideológica. Esta relacionada con las ideas o creencias que tienen las personas sobre el devenir y los hechos del mundo. Se expresa en actitudes pasivas, fatalistas y creencias religiosas que limitan la capacidad de actuar de los individuos en ciertas circunstancias. La percepción dogmática de las cosas puede generar confusión acerca de un propósito, falta de reacción y muchas veces pérdida de la motivación, que debilitan una acción transformadora.

El planteamiento de una vulnerabilidad global resultado de estas y otras dimensiones de la vulnerabilidad, que Wilches-Chaux (1989) describe como vulnerabilidades individuales, es muy útil para visualizar la vulnerabilidad desde múltiples facetas y desde diversas perspectivas del conocimiento. Este planteamiento facilita el entendimiento de la vulnerabilidad como una condición o circunstancia dinámica o cambiante. Además, permite su formulación como un proceso acumulativo de fragilidades, deficiencias o limitaciones que permanecen en el tiempo como factores que inciden en que exista o no una mayor o menor vulnerabilidad. Desde el punto de vista de la gestión del riesgo, las acciones que reduzcan estos factores y que estimulen las fortalezas y capacidades de una comunidad, entendida como los elementos expuestos, deben ser el objetivo de la planificación y la prevención-mitigación (Aysan 1993).

Esta lectura de la vulnerabilidad es de alguna manera compatible con los postulados de Anderson y Woodrow (1989) que plantean la vulnerabilidad integrada por una serie de aspectos que a largo plazo afectan la capacidad de la comunidad para responder a sucesos y la hacen susceptible a sufrir futuras consecuencias. Dichos aspectos tienen carácter:

- a) Físico-material, relacionados con el medio ambiente, la infraestructura, la vivienda, la tecnología, el capital, el nivel de salud y la capacidad de trabajo.
- b) Social-organizacional, relativos a las actividades sociales y económicas y a las estructuras políticas formales u otras mediante las cuales se toman decisiones.
- c) De motivación y actitud, lo que se refiere a la concepción que tienen las comunidades de ellas mismas y sus interrelaciones con el ambiente y la sociedad.

Por otra parte, Cannon (1991) también propuso que la vulnerabilidad debe verse como un conjunto de variables que se refieren a tres tipos de situaciones:

- a) Vulnerabilidad de los sistemas de vida, que explica cómo un sistema de vida de una colectividad o un individuo se hace más resistente o más resiliente a las amenazas, por ejemplo mediante un mayor nivel de salud y nutrición, mediante mayores ingresos y ahorros que le permitan una mayor capacidad de adaptación.
- b) Autoprotección, relacionada con el nivel de conciencia acerca de la amenaza y con la experiencia de sucesos anteriores. Es decir el nivel de preparación del individuo o la colectividad para enfrentar una amenaza, lo que se refleja en la ubicación de la vivienda, la resistencia de los edificios, la construcción de obras preventivas, etc.
- c) Protección social, referida no sólo al nivel local sino en general a la acción del Estado en todo sus niveles, que influyen tanto en la autoprotección, la resistencia de

los sistemas de vida como en factores tales como las normas de construcción, el ordenamiento territorial, los esquemas de seguros, etc.

Estos aspectos ligados a las características de los individuos y su composición por clase, etnia, género, edad y sistema político componen la vulnerabilidad desde una perspectiva fundamentalmente social.

En todos los casos, estos conceptos descansan sobre los enfoques de la Ecología Humana, propuestos en el campo de la geografía, en la Universidad de Chicago, por Gilbert White, Burton y Kates. Estos autores plantearon el concepto “ajuste” o adecuación –que diferencian de adaptación, según el tiempo– para reducir el impacto de los eventos de la naturaleza. Igualmente, hicieron énfasis en la diferencia entre un fenómeno natural y un desastre natural. El concepto de vulnerabilidad, aunque llegó a ser tratado incluso por Engels en 1845, cuando se refirió a la vulnerabilidad de la clase obrera, fue propuesto de una manera explícita desde la perspectiva de los desastres, tal como hoy se conoce, por la escuela ecologista desde mediados del siglo XX.

6.1.2. Vulnerabilidad y carencias de desarrollo

Si bien es cierto que algunas circunstancias sociales pueden considerarse como aspectos asociados con la vulnerabilidad desde la perspectiva de los desastres, no siempre dichos aspectos pueden considerarse como la vulnerabilidad misma. Un ejemplo es el caso de la pobreza, la cual puede considerarse como un factor o como una causa de la vulnerabilidad ante cierto tipo de sucesos. Sin embargo, la pobreza en sí misma no es sinónimo de vulnerabilidad. Por esta razón, es necesario estudiar detenidamente los factores que hacen que las poblaciones sean vulnerables a los fenómenos que caracterizan a las amenazas. Sin duda, muchos desastres actualmente son el producto de factores económicos y políticos, muchas veces exacerbados por presiones, que concentran población en áreas de peligro. En la mayoría de los casos, la reducción de la vulnerabilidad está ligada de manera indisoluble a intervención de las necesidades básicas de desarrollo prevalecientes, razón por la cual se puede afirmar que existe una relación entre las condiciones de marginalidad económica y la vulnerabilidad vista desde la perspectiva de los desastres.

La vulnerabilidad de los asentamientos humanos está íntimamente ligada a los procesos sociales que allí se desarrollan y está relacionada con la fragilidad, la susceptibilidad o la falta de resiliencia de los elementos expuestos ante amenazas de diferente índole. Por otra parte, la vulnerabilidad está íntimamente ligada a la degradación ambiental, no solo urbana sino en general del entorno natural intervenido o en proceso de transformación.

Por lo tanto, la degradación del entorno, el empobrecimiento y los desastres no son otra cosa que sucesos ambientales y su materialización es el resultado de la construcción social del riesgo, mediante la gestación en unos casos de la vulnerabilidad y en otros casos de amenazas o de ambas circunstancias simultáneamente. En consecuencia, desde el punto de vista social, la vulnerabilidad refleja una carencia o déficit de desarrollo ya que el riesgo se genera y se construye socialmente. En los países en desarrollo se percibe un incremento en la vulnerabilidad ocasionado por factores como el rápido e incontrolable crecimiento urbano y el deterioro ambiental, que ocasionan la pérdida de la calidad de vida, la destrucción de los recursos naturales, del paisaje y la diversidad genética y cultural.

Al respecto, Wijkman y Timberlake (1984) indican que “en numerosos países del tercer mundo la degradación ambiental, la pobreza y un rápido crecimiento demográfico pueden transformar un fenómeno natural en un desastre de gran envergadura. Los desastres son acontecimientos sociales y políticos con frecuencia evitables”. Esto conduce a pensar que es necesario cuestionar el modelo de desarrollo si dicho desarrollo exagera la vulnerabilidad, como está ocurriendo en muchos lugares. Desde esta perspectiva se formulan además dos modelos conceptuales para analizar la vulnerabilidad (Blakie *et al.*, 1994/96). El primero examina la evolución de condiciones inseguras específicas en términos de presiones dinámicas como son la urbanización y la degradación ambiental y en términos de causas de fondo inmersas en la economía política. Esto permite revelar los hilos que conectan las condiciones inseguras que caracterizan a una determinada configuración espacial y temporal de vulnerabilidad con procesos económicos, políticos y sociales globales.

El segundo modelo parte del concepto de acceso, desde una familia, comunidad o sociedad dada, a los recursos que permiten seguridad frente a determinadas amenazas, lo que permite identificar los diferentes canales y barreras sociales, económicas, políticas, culturales, examinándose no sólo variables económicas y políticas tradicionales como acceso a la tierra y otros medios de producción, sino también variables como sexo, edad y etnia.



Foto 6.2: La vulnerabilidad esta altamente asociada con la pobreza. La fotografía ilustra las condiciones de marginalidad de una familia en la región de Chocó, Colombia. Estas familias han sido afectadas recurrentemente por terremotos, sin embargo sus condiciones de vida ya son un desastre cotidiano.

Analizar la vulnerabilidad dentro de los patrones más amplios de la sociedad, supone encontrar las causas de fondo o subyacentes de la vulnerabilidad desde la perspectiva de los desastres y los mecanismos o procesos dinámicos que trasladan causas de fondo a condiciones inseguras. Las causas de fondo de la vulnerabilidad o causas subyacentes que dan origen a la vulnerabilidad son procesos económicos, demográficos y políticos, que afectan la asignación y distribución de recursos entre

diferentes grupos de personas, y reflejan la distribución del poder (Wisner 2001).

Hay algunos procesos globales a los cuales se debe prestar más atención, como el crecimiento de la población, la urbanización rápida, presiones financieras internacionales, degradación de la tierra, cambio ambiental global y guerra. Como ejemplo, la urbanización ha contribuido considerablemente a los severos daños en ciertos terremotos urbanos: el aumento de la población es una de las razones que explica el incremento de personas afectadas como resultado de sequías e inundaciones, así como la deforestación aumenta las inundaciones y el riesgo de deslizamientos (Blakie *et al.*, 1994/96).

Aceptando la hipótesis que existe una alta relación entre las carencias de desarrollo y la vulnerabilidad, el autor propone los siguientes factores de los cuales se origina la vulnerabilidad:

- a) *La exposición*, que es la condición de susceptibilidad que tiene el asentamiento humano de ser afectado por estar en el área de influencia de los fenómenos peligrosos y por su fragilidad física ante los mismos.
- b) *La fragilidad social*, que se refiere a la predisposición que surge como resultado del nivel de marginalidad y segregación social del asentamiento humano y sus condiciones de desventaja y debilidad relativa por factores socioeconómicos.
- c) *La falta de resiliencia*, que expresa las limitaciones de acceso y movilización de recursos del asentamiento humano, su incapacidad de respuesta y sus deficiencias para absorber el impacto.

Este tipo de planteamiento intenta integrar de manera holística la lectura de las ciencias físicas y las ciencias sociales, con el fin de tener una visión completa de los factores que originan o exacerban la vulnerabilidad, teniendo en cuenta los aspectos de resistencia física ante los fenómenos y los aspectos prevalecientes de autoprotección individual y colectiva (Cardona y Barbat 2000b).

6.1.3. Riesgo como resultado de degradación ambiental

Aun cuando desde el punto de vista urbano ha sido habitual reconocer que el proceso de degradación ambiental se puede convertir en un detonante de procesos supuestamente naturales que afectan el hábitat de los asentamientos humanos, debido a la poca atención que los expertos en temas ambientales le han dado al tema de los desastres, no se ha asociado de manera explícita dichos temas con la prevención y mitigación de riesgos. Algunos especialistas ven en el tema hábitat aspectos artificiales del medio ambiente y no integran a la concepción de los ecosistemas a los asentamientos humanos, que bien pueden entenderse de una manera más holística como socio-ecosistemas y que podrían permitir una síntesis y una visión más integral de la problemática urbana y ambiental. Infortunadamente, algo similar se puede decir de los especialistas en el campo de la gestión de riesgos y prevención de desastres, que al no integrar a sus modelos y marcos conceptuales los aspectos relativos a la protección del medio ambiente facilitan una visión reduccionista e incompleta de la problemática de riesgos y del hábitat urbano. En otras palabras, aparte de los llamados riesgos tecnológicos, podría ocurrir en ocasiones que algunos de los desastres supuestamente naturales sean realmente de origen antrópico, bien porque al degradar el medio ambiente pueden inducir amenazas naturales o porque el aumento de la vulnerabilidad

de los asentamientos humanos incide de manera notoria en la ocurrencia de desastres a los que también, de manera desacertada, se les califica de desastres naturales.



Foto 6.3: La degradación ambiental y el aumento del riesgo son, en ocasiones, el resultado de la influencia negativa de asentamientos humanos marginales que no cuentan con servicios públicos adecuados.

En Sudamérica, por ejemplo, la zona andina es altamente propensa a procesos de inestabilidad o deslizamiento y, por su complejidad orográfica, cuenta también con un amplio número de ríos cuyo comportamiento es de régimen torrencial. En estas circunstancias se presentan continuamente crecidas repentinas y avalanchas generadas como resultado de estancamientos en las zonas altas de sus cuencas. Este tipo de sucesos es, en su gran mayoría, el resultado del desequilibrio ambiental que degrada la naturaleza; pero también afecta los asentamientos humanos. Las cuencas hidrográficas se deterioran y con ello se interrumpe el ciclo hídrico, se agota el agua, se reseca la tierra y los cultivos se quedan sin riego. Procesos de deforestación e incendios han estado destruyendo la vegetación protectora de los suelos y estabilizadora del clima, causando erosión e inestabilidad de laderas; los suelos agrícolas se escurren en forma vertiginosa al paso incontenible de las escorrentías, generando sedimentación de valles, cursos de agua, estanques y ciudades donde los sistemas de alcantarillados son colmatados. La destrucción de la vegetación significa despojar de su hábitat a la fauna; la desaparición del manglar en las zonas costeras facilita las inundaciones y empobrece la pesca. Los lagos, ciénagas y cursos de agua en las zonas bajas han estado siendo desecados y terraplenados para habilitar tierras para habitar y cultivar; la minería ha esterilizado tierras y ha contribuido a sedimentar cauces y desestabilizar laderas. Estos procesos en las áreas interandinas son causantes de sucesos hidrogeodinámicos intensos como deslizamientos, inundaciones y avalanchas que arrasan viviendas, obras de infraestructura y generan pérdidas de vidas. Las actividades industriales y agroindustriales en sitios mal escogidos contaminan ciudades, valles, aguas, vegetación y atmósfera y pueden llegar a ser serias amenazas tecnológicas para asentamientos humanos circundantes. La urbanización ha venido contaminando las mejores tierras agrícolas, pecuarias y forestales y ha generado al mismo tiempo, como consecuencia de

desajustes sociales en la estructura de la tenencia, asentamientos humanos marginales en áreas degradadas (Blanco-Alarcón 1992).

De acuerdo con lo anterior, un desastre es la materialización del riesgo y significa un impacto ambiental que puede tener una dimensión variable en términos de volumen, tiempo y espacio. Algunos son causa de pocas pérdidas de vidas; otros afectan millones de personas. Algunos son momentáneos; otros son lentos y duran muchos años. Algunos están localizados en pocos kilómetros cuadrados; otros cubren varios países.

Aunque científicamente todo impacto ambiental intenso podría considerarse como un desastre, el sentido común de las personas reconoce como desastres sólo aquellos que modifican significativamente el volumen o la distribución de la población humana. Por esta razón, sucesos que ocurren en áreas "vacías", en donde no existen asentamientos humanos, raramente son percibidos como desastres. No obstante, es obvio que no existe un criterio único para calificar como desastre un suceso demográfico. Una población grande, por ejemplo, puede ser más afectada que una pequeña en términos absolutos, pero menos afectada en términos relativos (Clarke 1989). En consecuencia, aunque sea ampliamente aceptado, la dimensión de un desastre no sólo depende de la cantidad de población humana que puede ser afectada sino, también, de su escala en términos ecológicos, económicos y sociales. Un suceso podría no afectar personas en forma directa, pero podría causar perjuicios sobre otros elementos naturales renovables y no-renovables que, igualmente, le darían la categoría de desastre.

Desde el punto de vista temporal, habitualmente los desastres son interpretados como graves consecuencias que causan sucesos súbitos, aunque este calificativo depende del contexto. Súbito en relación con el tiempo de duración de una vida es diferente de súbito en relación con el curso de la historia de la humanidad. Existe una real dificultad para definir la duración de un desastre aunque, como se mencionó anteriormente, muchos la relacionan con sus efectos demográficos. En un extremo de la escala del tiempo podrían localizarse como impactos instantáneos desastres provocados por sucesos tales como terremotos, erupciones volcánicas o accidentes aéreos, mientras que como impactos prolongados pueden considerarse otros desastres causados por fenómenos tales como la desertificación, las hambrunas y las guerras, sucesos que usualmente tienen efectos más severos en términos demográficos. Los desastres repentinos impredecibles cuyas causas históricamente son bien reconocidas producen, en general, un mayor temor y son percibidos como más catastróficos; justamente por que son inesperados y causan sensación. Otro aspecto temporal se relaciona con la frecuencia de los fenómenos. Algunas poblaciones, por ejemplo, están habituadas a un ambiente propenso, donde la ocurrencia de los sucesos llega a ser casi parte de su estilo de vida, a los cuales llegan a acostumbrarse o adaptarse; a diferencia de poblaciones localizadas en ambientes en los que ciertos sucesos, por su poca recurrencia, llegan a ser considerados como eventualidades fortuitas.

Espacialmente el impacto de las amenazas es extremadamente variado. Algunos desastres son aislados y localizados; otros son difusos y dispersos. Por lo tanto, algunos sólo son el resultado de los efectos sobre una población, mientras que otros son lo suficientemente amplios, es decir los daños y las consecuencias del fenómeno cubren varias poblaciones. El área de influencia de un accidente aéreo o de una erupción volcánica, por ejemplo, es considerada generalmente como pequeña y discreta; mientras que una sequía, una hambruna o una epidemia puede llegar a afectar grandes superficies,

incluso de orden continental, trascendiendo en ocasiones fronteras políticas. En conclusión, el concepto de impacto ambiental o de desastre es relativo a la manera como se le califica (dimensión temporal, espacial o de volumen) y depende de la valoración social que la comunidad le asigna.

6.2 Fundamentos del enfoque holístico

La teorización científica se halla entre dos estrategias: o bien buscar el acuerdo exacto entre la teoría y la experiencia, siendo inevitables desacuerdos atribuidos a los ruidos locales de los errores experimentales de carácter insignificante. O, por el contrario, aceptar la inexactitud cuantitativa, en provecho de una precisión cualitativa que convendrá mejorar. Por muchos años, las explicaciones de la mecánica clásica y los planteamientos que se derivan de los aportes de Newton y Laplace condujeron a una visión determinista de la naturaleza. Un determinismo cuya conquista principal era postular que todo fenómeno era predecible y en el cual el tiempo básicamente podría entenderse como una “ilusión”; algo que se podía eliminar. No obstante las observaciones visionarias de Maxwell y Poincaré, acerca de la dependencia sensible de las condiciones iniciales en algunas situaciones, y del desarrollo de la mecánica estadística y la física cuántica, científicos como Einstein y Planck mantuvieron su esperanza en un determinismo, simplicidad y causalidad del mundo; aun cuando sus aportes significaron extraordinarios “rompimientos de simetría” en relación con la física clásica. Sin embargo, la posibilidad de “reducir” el comportamiento de un sistema natural a sus componentes básicos, con el fin de explicarlo en forma satisfactoria se logra sólo en casos relativamente simples, que corresponden más a la excepción que a la regla y cuyas idealizaciones lo alejan de la realidad. Las probabilidades, que se creyó que expresaban básicamente la ignorancia de verdaderos procesos deterministas subyacentes demostraron ser esenciales y no reductibles a ninguna forma de determinismo. Hoy, los científicos paulatinamente se han ido convenciendo que un reduccionismo ingenuo, que busque reducir todas las cosas a sus partes constituyentes más pequeñas, se encuentra fuera de lugar. Una aproximación más honesta consiste en establecer, y demostrar, un postulado que explique exactamente en qué sentido una solución exacta de un problema aproximado puede contemplarse como una solución aproximada a un problema exacto (Stewart 2001). Cuando se pretende tener en cuenta la complejidad de los sistemas, es decir, cuando se requiere que la descripción sea más completa, es necesario introducir elementos estocásticos.

No se intenta aquí estimular un debate filosófico en relación con la causalidad del mundo, pero sí describir los fundamentos para postular una conjetura o un “modelo” a cerca del riesgo y el desastre desde una perspectiva científica moderna. La gente hoy tiende a hablar de modelos mejor que de teorías o leyes. El determinismo, no del mundo sino de las descripciones, tal vez sea una abstracción y una simplificación que se practica para hacer inteligible la complejidad cotidiana y actuar con ella. Y el indeterminismo quizás sea la propia desesperación que embarga cuando para entender o explicar la complicación se requiere de una información a la que no es posible acceder. Lo que se necesita es descubrir si hay principios generales gobernando el desarrollo de la complejidad en su totalidad que puedan ser aplicados a toda una variedad de situaciones diferentes sin que se vean enmarañados en sus particularidades.

La mecánica cuántica describe lo que un sistema podría hacer en el futuro, mientras que la mecánica clásica describe que ha hecho en el pasado. El futuro es indeterminado, pero el pasado es determinado porque ha sido observado y esta asimetría, esta diferencia contextual, es responsable del muy diferente carácter de la mecánica cuántica y clásica. Aun más, el presente, donde la conciencia reside, es una frontera que se mueve en la cual el contexto cambia –una “bifurcación” en un espacio paradigmático.

Para muchos, un fenómeno aleatorio es todo aquél que se resiste a ser descrito por un formalismo, que no permite ser reducido por un proceso algorítmico conocido. El azar entendido como un concepto complementario del conocimiento. La palabra “azar” deriva del árabe *al-zahr* que significa “juego de dados”. Sin embargo, aquí, cuando se habla de riesgo como en muchas otras situaciones de los sistemas complejos, azar no es ontológico sino epistemológico, es decir desde la perspectiva del conocimiento.

La capacidad de obtener un conocimiento detallado de un sistema ha experimentado un decidido avance en los últimos años, pero la de integrar ese conocimiento se ha visto frenada por la falta de un marco conceptual apropiado para describir de manera cualitativa el comportamiento. La interacción entre los componentes en una escala puede llevar a un comportamiento global muy complejo en otra escala mayor, que, en general, no puede deducirse del conocimiento de los componentes individuales.

La mayoría en el debate asume que hay solamente una ciencia y sólo un método científico. La propuesta que aquí se presenta desafía este supuesto monológico y argumenta que un solo método no puede ser apropiado para el entendimiento de la complejidad. Aquí se argumenta que los científicos tienen una pluralidad de métodos de los cuales pueden escoger cuando investigan un sujeto y su responsabilidad es seleccionar el método que mejor se ajuste al contorno ontológico del problema que se estudia. Lo que hay que preguntarse, primero, es si el fenómeno físico o social que el científico escoge investigar impone límites ontológicos en el método que puede emplear.

Uniéndolo a la ontología y epistemología realista del “naturalismo crítico” del filósofo británico Bhaskar (1989), sensitivo a las diferencias estructurales que existen en el mundo, con el enfoque de los “sistemas disipativos”, se puede elevar a una nueva visión científica, fundamentada en los axiomas del caos determinista, y en la cual se reconocen las profundas diferencias que separan el mundo social del de la naturaleza. Tal realismo dinámico es capaz de sustentar la particularidad y pluralidad del mundo social preservando simultáneamente los cánones del entendimiento científico.

El naturalismo del que aquí se habla demanda el empleo de un pluralismo metodológico cuando se estudian organizaciones complejas, como una población o comunidad humana, desde la perspectiva de sistemas disipativos, teniendo en cuenta dos supuestos: Primero, con la notable excepción de la que parece ser una adecuada aplicación en áreas tales como la demografía, la ecología y la conformación espacial urbana, la simple incorporación del paradigma del caos determinista en la investigación científica social y al análisis del riesgo no tiene mayor relevancia. Segundo, si los actuales modelos matemáticos del caos determinista y sus resultados concretos en las ciencias físicas tienen un valor limitado en su aplicación a las ciencias sociales y al análisis del riesgo, ellos si proveen una heurística básica vigorosa desde la cual los científicos e investigadores del riesgo pueden trabajar en el futuro.

De la crítica de Bhaskar se concluye que la ciencia y sus resultados, a pesar de la insistencia de algunos de sus apologistas, es un producto humano y se soporta igualmente en indelebles marcas como todas las demás que produce el ser humano. La

ciencia es una actividad transitiva condicionada históricamente. Si el conocimiento tiene una estructura acumulativa entonces también la tiene la realidad en sí misma. Bhaskar argumenta que debe organizarse de la misma forma. La estratificación ontológica forma una jerarquía de estructuras abiertas y anidadas así que, en la medida en que la ciencia penetra cada nuevo estrato descubre la base ontológica de esas entidades y estructuras que previamente no tenía cubiertas. Existe una división científica del trabajo en una estratificación ontológica del universo desde las partículas elementales hasta las estructuras sociales. Anderson (1972) sugiere que cada estrato de la realidad es estructuralmente único y opera de acuerdo con sus propias leyes, y demanda sus propios protocolos de investigación. Los mecanismos de rompimiento de simetría proveen los fundamentos ontológicos para la emergencia de nuevos niveles de realidad de los niveles establecidos. El rompimiento de simetría permite que cada nuevo nivel ontológico se organice el mismo alrededor de su propia serie de principios irreducibles. Puesto que diferentes principios regulan las actividades de cada nivel, ningún nivel es reducible a aquellos de los cuales ha emergido. La pirámide resultante de complejidades producida por la geometría de simetrías rotas es la fuente, por lo tanto, de nuestra división moderna de profundización de la labor científica.

Harvey y Reed (1999) proponen que siguiendo la lógica de Bhaskar lo que se necesita es una visión científica del mundo para llenar los vacíos filosóficos, y que esa visión es la ciencia de la termodinámica del no equilibrio. Esta nueva ciencia estudia los mencionados “sistemas disipativos”, que involucran una amplia variedad de sistemas caóticos: procesos químicos catalíticos que a menudo parecen imitar la vida misma; sistemas evolutivos constituidos física y biológicamente; y los sistemas sociales. Estos autores proponen una matriz en la cual se definen seis estrategias de modelación o niveles de abstracción, en los cuales jerárquicamente los supuestos deterministas decrecen, para enfrentar doce diferentes niveles de complejidad ontológica. Dichas estrategias son las modelaciones predictiva, estadística, iconográfica, estructural, simulativa, y la narrativa histórica; y los niveles de complejidad van desde las regularidades determinantes del universo físico, la evolución biológica, la organización ecológica biótica, la organización ecológica institucional, la estructura de sistemas socio-técnicos, y sucesivamente en orden de jerarquía hasta la cultura hegemónica y sus procesos de conflicto de clases y evolución social.

Según este paradigma los modelos predictivo, estadístico e iconográfico deben restringirse a niveles ontológicos en los cuales el fenómeno puede ser legítimamente tratado como un agregado estadístico; es decir, como un compuesto aditivo, numerable e intercambiable de unidades individuales. Los modelos estructural, simulativo o narrativo pueden ser usados donde no son adecuados los tres primeros y, por lo tanto, son útiles en niveles ontológicos en los cuales procesos poblacionales, productos culturales y eventos históricos son la regla. Un uso inadecuado de los modelos o abstracciones en contextos con los cuales no son consistentes conduce a falacias: como intentar modelar los desarrollos culturales como objetos gobernados por leyes básicas de la naturaleza, ignorando el rol de la intencionalidad humana, o a considerar los hechos de la naturaleza como puras y discrecionales construcciones humanas.

Así las abstracciones de la realidad resultan coherentes según sea el contexto o nivel ontológico correspondiente. Los patrones explotados por la física pueden ser imperfectos, meras aproximaciones; pero son buenas aproximaciones y eso no puede ser justamente una coincidencia. La lógica del reduccionismo es la más precisa en las

profundidades matemáticas y llega a ser gradualmente más “borrosa” en la medida que se asciende a niveles más complejos como la biología y las ciencias sociales. De hecho, el modelo Darwinista de la evolución ha llegado a ser más verbal o figurativo que matemático. Es decir, construido en un muy preciso y sutil lenguaje, y mucho de esto soportado en submodelos matemáticos y simulaciones. La lógica explicativa es ya muy precisa pero su estilo ha cambiado sutilmente. Sin duda, la estrategia del reduccionismo parece ser de lejos menos exitosa cuando se piensa acerca ya de altos niveles de organización de la evolución. La cadena de explicación de los niveles de “abajo” hacia “arriba” llega a ser más difusa, y una cuidadosa mirada muestra que alguno de sus eslabones hacen falta.

Así, las leyes de la naturaleza, en una luz diferente, son patrones que prevalecen en algún contexto escogido. Depende de las preguntas que se formulen y justamente no son acerca de su química o su física fundamental. Hay medidas que tienen sentido dependiendo del contexto escogido. No hay duda de que el marxismo contiene más ideología que el psicoanálisis; que el psicoanálisis contiene más ideología que la física atómica y que la física atómica contiene más ideología que la topología algebraica. La complejidad de un sistema tentativamente se puede definir como la cantidad de información necesaria para describirlo.

La complejidad de los ecosistemas y sociedades es el resultado de una red de transacciones y comunicaciones entre organismos individuales. El concepto de estructura no necesariamente emerge de promediar el comportamiento de sus componentes, como podría ser en el caso de las leyes de los gases o la estadística de sus fluctuaciones. La estadística es justamente un camino para que el sistema colapse el caos de su fina estructura y desarrolle una característica confiable a gran escala. Cualquier sistema interesante es típico en algún sentido, en un contexto lo suficientemente limitado; y si se quiere entender dicho sistema, ayudará mucho saber cuál es dicho contexto (Stewart 2001). La explicación reduccionista de la dinámica de un asentamiento humano es interna, opaca y complicada. La contextual o representativa (simulativa) es externa, transparente y simple. Hay que buscar explicaciones en términos de contexto tanto como en contenido.

Aquí se propone una abstracción estructuralista y simulativa para tratar el fenómeno del desastre y las condiciones de riesgo en un sistema socio-técnico, como lo es un asentamiento humano (un centro urbano) en su ambiente natural. La “fractalidad” de las fronteras en aspectos reales hace que no exista una línea que los diferencie sino una frontera difusa. Holismo es una alternativa al reduccionismo, siempre que se diferencie de la abstracción común (la oriental), que consiste en ver únicamente el aspecto global en detrimento de lo particular: un sistema se considera como una unidad y a menudo se ignora su contexto. Aquí, holismo significa integralidad (Smuts 1926), proviene de *holos* que en griego significa “todo”, “íntegro”, “entero”, “completo”, en tanto que el sufijo *ismo* denota su práctica (Weil 1990; CONICIT 1999). El enfoque holístico, al que aquí se refiere el autor, significa proceso de integración y desagregación, conservando las sinergias o relaciones entre componentes. Es la noción de pensamiento complejo, a la que se refiere el sociólogo francés Edgar Morin (1994), que separa y reúne, que distingue – sin desunir– y religa.

La imagen holográfica es una buena representación contextual de la visión integral que aquí se desea proponer. En la imagen holográfica cada parte de la figura que uno ve esta dispersa sobre toda la superficie. Por esta razón, en cada fragmento de la imagen

esta toda la figura y no un pedazo de ella como en una fotografía convencional. La visión de un fragmento de la imagen equivale a tener un cierto grado de resolución; corresponde a la calidad del conocimiento que se tiene acerca de algo y no a una parte de ese algo. Esta propiedad del holograma explorada por Karl Pribram en neurología y en física por David Bohm (teoría holónica del universo) se plantea aquí como el enfoque mediante el cual se debe intentar llevar a cabo la estimación del riesgo sísmico urbano.

La naturaleza opera de una manera holística para crear un equilibrio armonioso en el que cada ingrediente interacciona con los otros ingredientes vecinos para producir un todo que es más que la suma de sus partes. No es difícil ver por qué la perspectiva holística oriental supuso un obstáculo para el progreso científico. Niega la presunción de que se puede estudiar partes del mundo aislándolas del resto –que puede analizar el mundo y entender una de sus partes sin conocer el todo. La perspectiva holística a la que aquí se hace referencia supone que la naturaleza es intrínsecamente no lineal, de manera que las influencias no locales prevalecen e interaccionan entre sí para formar un todo complejo. No es que la concepción oriental estuviera desencaminada; era sencillamente totalitarista, absolutista y tal vez prematura. Sólo desde hace poco, los científicos, ayudados por potentes programas gráficos de ordenador, han logrado hacerse con la descripción de sistemas no lineales intrínsecamente complejos. Un estudio fructífero de las leyes naturales que pretenda llegar a dominar alguna vez las complejidades holísticas ocasionadas por la no linealidad, debe comenzar con los problemas lineales simples. El mundo real es inmensamente complicado: es una madeja de hilos anudados y enmarañados, cuyo principio queda fuera de nuestro alcance y cuyo fin no podemos conocer (Barrow 1994). Se utilizan aquí los fundamentos de la teoría general de sistemas, como abstracción o modelo simulativo (representación) que investiga el paralelismo entre los diversos campos de la ciencia.

En el mundo real no se observan leyes de la naturaleza, se observan resultados. Puesto que la representación más eficaz de estas leyes viene dada por ecuaciones matemáticas, se podría decir que sólo se ven las soluciones de esas ecuaciones y no las ecuaciones mismas. Los resultados son mucho más complicados que las leyes; las soluciones mucho más sutiles que las ecuaciones. Aunque una ley de la naturaleza pueda poseer una cierta simetría, ello no significa que todos los resultados de la ley necesiten manifestar la misma simetría. La situación en que se rompe la simetría de los resultados de una ley se denomina “ruptura de simetría”. A ella se debe la vasta diversidad y complejidad del mundo real.

Hay varias formas de inteligibilidad, ciencia dura, causalidad y clasificación. No menos es la inteligibilidad de estructura, es decir, la que relaciona un “todo” con unas “partes” más o menos arbitrariamente elegidas. Se habla de “análisis” cuando se parte del “todo” para llegar a las “partes”, y de “síntesis” cuando el procedimiento es el inverso. Aunque la física teórica siempre ha mirado a los usuarios de esta forma de inteligibilidad con una leve compasión, no tiene otra posibilidad en aceptarla como la posible cuando de complejidad se trata. El éxito de la física, en parte, se debe a haber hecho la vista gorda a la complejidad. No se pueden seguir buscando fórmulas matemáticas para predecir la estabilidad de un ecosistema de 20 000 variables. En rigor, un sistema así ni siquiera puede “observarse”. No es que sea invisible por pequeño, ni por grande, sino por complejo. No puede observarse ni modelarse en el sentido clásico. Eventualmente, puede “simularse”. La simulación va camino de

alcanzar el rango de las otras dos grandes y tradicionales vías de aproximación a la realidad, esto es, el de la vía teórica y de la vía experimental (Wagensberg 1998).

Los postulados que aquí se presentan no tienen la intención de ser propiamente una teoría sobre el riesgo y el desastre desde el punto de vista de los sistemas dinámicos complejos. Más bien, puede entenderse como una conjetura que podrá ser con el tiempo verificada mediante simulación. Entre tanto se propone una conceptualización estructuralista y figurativa, utilizando representaciones de la interacción del asentamiento humano y su ambiente; aproximación que puede llegar a ser útil para la gestión del riesgo y la prevención de los desastres.

6.3 Postulado de los sistemas dinámicos

El análisis de todo proceso real comienza con la selección de un conjunto de elementos o partes de la realidad, operativamente interactivos, del que se quiere conocer su comportamiento global. Esta porción del mundo que interesa se conoce con el nombre de *sistema*. Este concepto se aplica a cualquier ámbito del saber por lo que así se habla, no sólo de sistemas físicos, químicos o biológicos, sino también de un sistema económico o financiero, de un ecosistema, de un sistema lingüístico, etc.

El método que la ciencia emplea para el análisis y comprensión de esta pequeña ventana del universo, o sistema, consiste en construir un modelo. Con él se pretende explicar los acontecimientos presentes o pasados que afectan o han afectado al sistema y, lo que es más importante, al menos desde el punto de vista del método científico, el modelo ha de servir para predecir su comportamiento futuro. Por otra parte, que un modelo es también un sistema. Se trata de un sistema abstracto en el que los elementos que intervienen son variables y las relaciones entre ellas vienen expresadas mediante conjuntos de ecuaciones.

Para que un sistema real pueda ser formalizado debe satisfacer una serie de requisitos cuya formulación precisa queda en manos de los teóricos de la ciencia. La construcción de un modelo formal que se ajuste "lo mejor posible" al sistema real en estudio es una tarea que conlleva una gran dificultad y, en cualquier caso, el resultado no es necesariamente único. Por ejemplo, en los complejos sistemas que aparecen en biología, sociología o economía (Lorenz 1997), donde el número de factores que intervienen puede ser del orden de miles o millones.

Aunque la intención es conocer la realidad y las observaciones que se realicen y las cualidades que se obtengan de los modelos se refieren en última instancia a la realidad que el modelo representa, lo cierto es que, dadas las restricciones impuestas en su construcción, no existe un isomorfismo exacto entre el conjunto de estados del sistema real y el conjunto de estados del sistema formal.

Un proceso se dice *determinista* si todo su curso futuro y pasado están unívocamente determinados por su estado en el momento presente. Lo que equivale a decir que los valores observables de los estados del sistema en un instante vienen dados por las observaciones en el instante de partida –por las condiciones iniciales– En definitiva, que para distintas series temporales de los estados del sistema los científicos han sido capaces de descubrir una relación que las comprime a todas ellas, es decir, han descubierto una ley científica. Por el contrario, en un proceso *aleatorio* no se aprecia claramente una regularidad en las observaciones que permita establecer una ley determinista. La única manera de describir el comportamiento del sistema es indicando

todos sus estados –lo cual es una tarea imposible en sistemas complejos–, o hacer uso de la teoría de la probabilidad y la estadística para tratar de ajustar las observaciones a alguna ley estadística. Tal distinción de sistemas deterministas y aleatorios no resuelve el problema determinismo-indeterminismo, pues aunque todo el mundo acepta la existencia de procesos indeterministas –en el sentido de impredecibles, v.g. lanzamiento de un dado–, surge inmediatamente la cuestión de si su existencia se debe a la ignorancia de los científicos en hallar las leyes que regulen determinísticamente el proceso, aparentemente aleatorio, o, por el contrario, dichas leyes no existen y se puede concluir que existe un azar ontológico. Aunque no es posible una respuesta contundente a dicha pregunta, sí cabe tomar distintas actitudes ante esta disyuntiva. Actitudes que definen dos formas de pensamiento ideológicamente enfrentadas: deterministas versus indeterministas. No se puede negar, sin embargo, la existencia de un azar epistemológico, surgido de las limitaciones del propio método científico. Aparece éste por caminos diferentes. El indeterminismo cuántico trae ya a colación el problema de una imposibilidad de exactitud total en la medida, lo que tiene profundas repercusiones en sistemas con sensibilidad a los errores en las mediciones de las condiciones iniciales. Por otra parte, cuando se consideran sistemas muy complejos (caso de los sistemas socio-técnicos, biológicos, etc.), el número de factores que intervienen en su comportamiento es tan grande que resulta imposible considerarlos todos, con lo cual cualquiera que sea el enfoque que se utilice en su estudio, bien la construcción de un modelo determinista simplificado del que se puede esperar sirva de cierta aproximación a la realidad, bien utilizando un tratamiento estadístico que permita estimar los valores medios de las variables relevantes, en ambos casos no se puede excluir un margen de error –fluctuaciones: separación sobre los valores medios– que imposibilita la predicción exacta, determinando que el azar sea componente ineludible del proceso.

En este desarrollo conceptual para representar y modelar el “desastre” y la condición potencial del mismo, o riesgo, se considerará el isoformismo del sistema en el cual ocurre este proceso con la dinámica de los sistemas disipativos al límite del caos. El sistema es, aquí, el conjunto de componentes que configuran el asentamiento humano o la ciudad (el hábitat urbano constituido por edificios, infraestructura, población, organización, interacciones y relaciones entre esos componentes, etc.) dentro de otro sistema que corresponde al sistema natural, donde igualmente ocurren episodios e intercambios de energía con el sistema socio-técnico base. Se plantea en adelante el funcionamiento de este tipo de sistemas intentando desarrollar los metaconceptos de los sistemas dinámicos complejos, asociando dichos metaconceptos con las situaciones de riesgo y desastre.

6.3.1 Dependencia sensible y dimensión fractal

Para saber cómo evoluciona un sistema desde un estado inicial dado, se recurre a la dinámica (las ecuaciones del movimiento) que explica el movimiento, por incrementos, a lo largo de la secuencia cronológica de estados. Las herramientas matemáticas para estudiar los sistemas dinámicos son las ecuaciones diferenciales, que equivalen a un conjunto de formulas que conjuntamente expresan las tasas de cambio de las variables en función de los valores actuales de esas variables. Una solución completa contendrá expresiones que darán los valores de las variables en cualquier instante dado en función de los valores que tuvieron en cualquier instante anterior.

En el caso de sistemas simples y lineales, puede ocurrir que las ecuaciones admitan una solución explícita, o sea, una fórmula que exprese cualquier estado futuro en función del inicial. Una solución explícita proporciona un atajo, un algoritmo simple que precisa sólo el estado inicial y el tiempo final para predecir el futuro sin pasar por los estados intermedios. La utilidad de la solución o de la imagen que así se obtiene reside en la posibilidad de representar el comportamiento del sistema en forma geométrica. Un espacio hipotético que tiene tantas dimensiones como el número de variables necesarias para especificar un estado de un sistema dinámico dado. Algo así como el espacio de lo posible. No son exactamente los estados que ocurren, son también los que podrían haber ocurrido. Un péndulo con rozamiento, por ejemplo, termina por detenerse, lo que significa que la órbita o trayectoria se aproxima a un punto en el espacio de configuraciones o también llamado espacio de fase. Dicho punto no se mueve: está fijo; por atraer a las órbitas próximas, recibe el nombre de *atractor*. Algunos sistemas no tienden al reposo a largo plazo, sino que recorren periódicamente una sucesión de estados. Un atractor es, *grosso modo*, a lo que tiende, a lo que es atraído, el comportamiento de un sistema. Un sistema puede tener varios atractores. Si así ocurre, diferentes condiciones iniciales pueden llevar a diferentes atractores. En el caso de los asentamientos humanos o los centros urbanos, considerando la dinámica de la interrelación social-espacial las ciudades son atractores de la actividad (Dendrinos 1997).

Los éxitos en la obtención de soluciones explícitas en el caso de muchos sistemas simples suscitaron la esperanza de que tales soluciones existieran para cualquier sistema mecánico. Desgraciadamente, se sabe ahora que esto no es así, en general. El comportamiento impredecible de los sistemas dinámicos “irregulares”, como los llamó originalmente Edward Lorenz (1995) a los sistemas caóticos, no puede expresarse mediante una solución explícita. Consecuentemente no hay atajos para predecir su comportamiento. El espacio de configuraciones proporciona, no obstante, una herramienta poderosa para describir el comportamiento de estos sistemas. El conjunto de puntos que evoluciona hacia un atractor se llama su cuenca de atracción. Los atractores caóticos actúan como multiplicadores que elevan las fluctuaciones microscópicas a una expresión macroscópica. Esto explica porqué no existen las soluciones exactas, los atajos para predecir el futuro. Tras un breve período, la incertidumbre en la medición inicial cubre el atractor por entero y se pierde toda capacidad predictiva: simplemente no hay conexión causal entre el pasado y el futuro. El marco del que emerge el “caos” es la llamada teoría de los sistemas dinámicos. La importancia de dicho comportamiento fue reconocida por primera vez por Maxwell en la segunda mitad del siglo XIX, luego por Poincaré y Lyapunov a finales del mismo siglo, y posteriormente en el siglo XX por Birkhoff, Smale y Lorenz antes de que se le conociera por su actual nombre, que se debe a Li y Yorke.

Un sistema dinámico consta de dos partes: la noción de estado (la información esencial de un sistema) y una dinámica (una regla que describe cómo evoluciona el estado en el tiempo). La evolución se representa en el espacio de configuraciones donde las coordenadas de un punto son el conjunto de valores simultáneos de las variables. En general, las coordenadas del espacio de configuraciones varían con el contexto; en el caso de un sistema mecánico podrían ser posiciones y velocidades y, en el de un modelo ecológico, las poblaciones de las diferentes especies.

Una aparente paradoja es que el caos es determinista, generado por reglas fijas que no encierran en sí mismas ningún elemento de azar. En principio: el futuro está enteramente determinado por el pasado, pero en la práctica las pequeñas incertidumbres se agrandan, de suerte que, si bien el movimiento es predecible a corto plazo, no lo es a largo plazo. Este aserto presupone que no se pueden realizar mediciones que estén completamente libres de incertidumbre. El descubrimiento de los sistemas dinámicos con dependencia sensible ha creado un nuevo paradigma en la construcción de modelos científicos. Por una parte establece los límites fundamentales en la capacidad de avanzar predicciones. Pero, por otra, su determinismo inherente muestra que muchos fenómenos aparentemente aleatorios son más predecibles que lo que se había pensado. Antes que la idea de caos estuviera bien establecida, los científicos habían abordado el estudio de procesos complicados de esta índole como un problema originalmente estadístico. Esto es, consideraban que el proceso sometido a análisis era, a todos los efectos prácticos, “aleatorio”. Se sabía de la aleatoriedad en sistemas con un número grande de grados de libertad –o variables necesarias para describir el sistema– pero no que ocurría con una enorme generalidad, insospechada hasta hace poco, incluso en sistemas de aspecto muy simple con pocos grados. El comportamiento caótico está determinado por leyes bien precisas, mientras ocurre consiste en cosas que *no son* de verdad aleatorias sino que *sólo lo parecen*. Este comportamiento no es aleatorio puesto que puede ser generado con una ecuación completamente determinista. Un sistema caótico puede aparecer más o menos aleatorio dependiendo de su complejidad.

El descubrimiento de la ubicuidad del caos es, sin duda, la tercera gran revolución de la física del siglo XX (Scientific American 1994). Su existencia afecta incluso al mismo método científico. El procedimiento clásico para verificar una teoría consiste en hacer predicciones y contrastarlas con los datos experimentales. Ahora bien si los fenómenos son caóticos, las predicciones a largo plazo resultan intrínsecamente imposibles. Y esto debe tenerse en cuenta al juzgar los méritos de una teoría. El proceso de verificación se hace así mucho más delicado, y se debe basar en propiedades estadísticas y geométricas antes que en la predicción. El caos presenta un nuevo desafío al punto de vista reduccionista, según el cual un sistema puede entenderse descomponiéndolo y estudiando cada parte por separado. Si esta idea ha prevalecido en la ciencia es en parte porque hay muchos sistemas en los que el comportamiento del todo es realmente la suma de sus componentes. El caos demuestra, sin embargo, que un sistema puede tener un comportamiento complicado que emerge en virtud de simples interacciones no lineales entre unos cuantos componentes.

En la dinámica del ambiente natural, en el cual ocurren cambios intensos tanto lentos como súbitos en una escala de tiempo relativa se tipifica el comportamiento caótico, la no linealidad y la dependencia sensible. De la misma manera, la dinámica de las interacciones y procesos de un asentamiento humano obedece a pautas y atractores que pueden cambiar por inestabilidades internas de este sistema socio-técnico, como por perturbaciones o descargas del ambiente en el cual se encuentra.

Mandelbrot (1975, 1987) utilizó el término *fractal* introducido por Hausdorff y Besicovitch en 1919, para describir sistemas con dimensionalidad fraccionaria. La propiedad de los fractales es la *autosimilitud*: en muchos sistemas fractales, diversas piezas adecuadamente elegidas se hacen idénticas a todo el conjunto cuando se les amplifica apropiadamente. Lo cual implica desde luego que las diversas subpiezas de cada pieza, aumentadas, equivaldrían a la pieza y, por ende, a todo el sistema. Hay

otros fractales que sólo son autosimilares estadísticamente; las piezas pequeñas, al ampliarse no se superpondrán al sistema entero sino que tendrán una apariencia del mismo tipo general. Existe una estrecha ligazón entre la fractalidad y el caos: un *atractor extraño* es un atractor con estructura fractal. La fractalidad es una nueva simplicidad imbuida en una aparentemente más complicada.

Partiendo de la hipótesis de que el riesgo –que es un estado del sistema socio-técnico– es un atractor que tiene una dimensión fractal, se puede establecer que los escenarios de riesgo a diferentes escalas están vinculados aunque no necesariamente de manera simétrica y sincrónica; es decir sus relaciones de una escala a otra pueden variar de manera no lineal. Un escenario de riesgo a nivel local sería un fractal de escenarios de riesgo a otras escalas (Maskrey 1998); por ejemplo, el riesgo para una familia en relación con el riesgo a nivel de un asentamiento humano o de una región.

La dimensión fractal, equivalente a la denominada “capacidad” propuesta por el matemático ruso Andrei Kolmogorov, es una medida de la complejidad y la heterogeneidad y no corresponde a un número entero. En lugares donde los escenarios de riesgo son muy heterogéneos y complejos la dimensión fractal podría ser alta (un valor cercano a 2 o más). En otros contextos, donde los escenarios son más homogéneos y muestran menos diferenciación o “rugosidad”, la dimensión fractal podría ser baja (cercana a 1). La diferenciación, por ejemplo, podría ser una estratificación socio-económica altamente dispar. Así, en contextos donde el riesgo tiene una baja dimensión fractal para que ocurra un desastre sería necesario una perturbación muy intensa para que sus efectos puedan constituirse en crisis, a diferencia de contextos donde el riesgo tiene una alta dimensión fractal donde una mínima perturbación podría significar un desastre.

Por otra parte, en contextos donde la dimensión fractal del riesgo es alta, se requiere una mayor resolución de observación para poder apreciar la compleja variabilidad del riesgo a nivel local. Estos son los contextos caracterizados por numerosos desastres pequeños altamente diferenciados, aún cuando éstos sean provocados por un solo suceso, como un gran terremoto. La diferenciación visible del riesgo aumenta según se aumenta la resolución de observación, sobre todo en contextos donde la dimensión fractal es muy alta (Maskrey 1998). Esto significa que no existe una respuesta adecuada a la pregunta de qué efectos suceden en un contexto determinado, sin especificar la resolución de observación y la dimensión fractal del riesgo.

Una estimación del riesgo en forma global sólo permite diferenciar niveles de riesgo entre grandes regiones o países, por ejemplo. Según se aumente la resolución, es posible visualizar mayores niveles de complejidad, pudiendo identificar las diferenciaciones entre provincias, asentamientos humanos o ciudades, comunidades y eventualmente entre hogares e individuos. En aquellos contextos donde el riesgo tiene mayor dimensión fractal, mediante aumentos en la resolución se podría apreciar cada vez más diferenciación. En aquellos contextos donde el riesgo tiene baja dimensión fractal, existirá un límite donde al aumentar la resolución no se obtiene una mayor diferenciación del riesgo de los componentes.

6.3.2 Teoría de la complejidad

Un diccionario podría sugerir que el caos es un estado de completa confusión o una falta de organización alguna. Pero en el campo de la dinámica no lineal, como ya se

mencionó, el término implica propiedades específicas de turbulencia en un sistema no lineal. Existe un enorme terreno para la confusión en torno a términos como caos y complejidad. Para la mayoría caos significa azar. En el ámbito de los sistemas dinámicos no lineales no es así. También para la mayoría, complejo puede significar casi lo mismo que caótico. Los sistemas más complejos exhiben atractores; estados en los que el sistema acaba estabilizándose en función de sus propiedades. Al examinar estos atractores esto sirve como una gráfica fundamentación de la noción de “orden en el caos”. Siempre los datos numéricos describen un régimen caótico apareciendo desordenado. Su representación geométrica crea una única forma de orden. Una estabilidad existe en el caos. El comportamiento caótico es globalmente estable y localmente inestable.

El azar (epistemológico) es el nombre que se le da a la ignorancia –léase leyes insuficientes, débil potencia de cálculo, torpes observaciones (limitadas)– el azar es un concepto de conocimiento. Este azar admite medida y control, de él han nacido términos nuevos (fluctuaciones, ruido, error, mutación) con vocación de describir la esencia del cambio de la complejidad del mundo. Los sistemas que se ven al alrededor, como las formaciones geológicas o un centro urbano, gozan de cierta estabilidad (por eso pueden verse). Eso significa que pueden defenderse de la contingencia, del azar, ruido o fluctuaciones propias y de su entorno. Adaptarse significa amortiguar las sorpresas que el mundo depara. Hacerse insensible a ellas. La ignorancia de un sistema con respecto a su entorno es un reto para el sistema, de modo que éste se ve obligado a aumentar su complejidad para hacer frente a tal ignorancia. Evolucionar es superar una adaptación y asumir la siguiente. La otra alternativa, es claro, desaparecer.

Lo complejo es una categoría cualitativamente distinta de lo simple que no se debe sólo a una acumulación de elementos. Pero como el comportamiento simple y complejo coexisten en íntima unión en la generalidad de los sistemas físicos, más que antagónicos resultan complementarios. La diferencia entre orden y caos depende de la limitación de la capacidad en la medida del mundo. Si se pudiera determinar con precisión infinita los datos iniciales, muchos movimientos serían a la vez predecibles y caóticos.

Se ha demostrado en los últimos años que un número creciente de sistemas exhiben un comportamiento estocástico provocado por un simple atractor caótico. Los latidos del corazón, la oscilación de concentraciones químicas y muchos osciladores eléctricos y mecánicos. Actualmente se busca el caos, en sistemas tan dispares como las ondas cerebrales y los procesos económicos. Importa señalar que la teoría del caos está lejos de constituir una panacea. Cuando hay muchos grados de libertad, los movimientos son complicados y aleatorios. Pero, aun cuando se determine que un sistema es caótico, esto no aclara mucho; saber que un sistema es caótico no facilita la predicción de su comportamiento. Son tantas las variables que intervienen, que todo lo alcanzable es una posible descripción estadística, y las propiedades estadísticas esenciales pueden obtenerse sin tener en cuenta el caos.

El término complejidad se utiliza a veces para indicar la dependencia sensible y todo lo que ella conlleva. A veces se hace una distinción entre *caos* y *complejidad*, refiriéndose con el primer término a la irregularidad temporal y con el segundo a la irregularidad espacial. El comportamiento caótico se revela como la regla antes que la excepción, en lugar de una ecuación en particular. Se ha llegado a considerar que los fenómenos lineales, predecibles y simples prevalecen en la naturaleza porque se inclina

a elegirlos para el estudio. Son los más fáciles de entender. En el fondo el mundo no es inteligible por esa razón. Los fenómenos simples pueden ser analizados por partes. El todo, en ese caso, no es más que la suma de sus partes. Así pues, se puede entender algo sobre un sistema sin entender todo sobre él. Los sistemas caóticos no lineales son diferentes. Requieren de un conocimiento del todo, al igual como lo predica el holismo, para poder entender sus partes, porque el todo equivale a más que la mera suma de sus partes. En un sistema complejo no hay una clara división entre una “parte” y otra, lo que impide conseguir “toda” la información. La emergencia de simplicidad “colapsa el caos” trae orden a un sistema que parece estar deslizándose esperanzadamente en un mar de fluctuaciones aleatorias (Cohen y Stewart 1994). Aunque el caos exige la *no linealidad*, ésta no asegura la existencia del caos.

Puede que no resulte especialmente sorprendente que el comportamiento cualitativo de un sistema pueda cambiar cuando la intensidad de determinada influencia perturbadora pasa de cierto nivel crítico. Un equilibrio es inestable si un estado que difiere levemente del equilibrio, por ejemplo el que se podría introducir moviéndolo un poco, termina por evolucionar enseguida en un estado ampliamente diferente. La definición de equilibrio inestable o precario tiene mucho en común con la de la dependencia sensible: ambas suponen la amplificación de diferencias inicialmente pequeñas. Los sistemas caóticos pueden poseer estados de equilibrio, que son necesariamente inestables. En una familia de sistemas dinámicos, se le denomina bifurcación un cambio brusco del comportamiento a largo plazo de un sistema, cuando el valor de una constante cambia, pasando de ser inferior a ser superior a determinado valor crítico. Una bifurcación, por ejemplo, un cambio de fase: líquido a gaseoso.

Desde la óptica de la gestión del riesgo el ambiente se puede entender como un sistema dinámico complejo cuyos elementos se hallan en permanente interacción o como una red de relaciones activas entre dichos elementos, que determina las condiciones de existencia de los mismos y de la totalidad del sistema. Cuando dentro de la dinámica o proceso de interacción ocurren cambios, transformaciones o alteraciones que no son posibles de absorber o “disipar” por falta de flexibilidad o capacidad de adaptación del sistema, surge una *crisis* (Wilches-Chaux 1989). Esta bifurcación, que puede presentarse como consecuencia de una reacción en cadena de influencias, representa el *desastre*, calificativo que depende de la valoración social que la comunidad le asigne y que en todos los casos es un impacto ambiental desfavorable. Las crisis que pueden presentarse como consecuencia de eventos exógenos al sistema o como resultado de tensiones no resueltas al interior del mismo. Se desemboca en desastre cuando se dan reacciones en cadena, *runaway reactions*, que a la manera de bucles positivos incrementan las fuerzas disociativas hasta el punto de volverlas tendencias predominantes (Morin 1995), enfrentado al sistema con alternativas destructivas como la pérdida de alguna de sus partes o elementos, la escisión del conjunto, la agregación forzada a un sistema mayor, la mutación de sus valores fundamentales o incluso la desaparición del sistema que se contempla.

La evolución en el tiempo de los complejos sistemas sociales y biogeoquímicos no puede ser representada adecuadamente por funciones lineales o curvas suaves y continuas, excepto en el caso de aproximaciones sobre cortos segmentos de tiempo (Dodrecht *et al.* 1988). La evolución real de estos sistemas usualmente contiene retroalimentaciones positivas y comportamientos no lineales e incluso discontinuidades, lo que hace muy difícil predecirlos aunque en retrospectiva sea fácil explicarlos

(Merkhofer 1987). Los conceptos de “vulnerabilidad”, o predisposición a la afectación, y “resiliencia”, o capacidad de recuperación, entran a jugar un papel fundamental debido a su significativa relación con la posible ocurrencia de discontinuidades. Un sistema puede saltar de un atractor a otro si es alterado por una perturbación suficientemente impactante, lo cual no depende solamente de la intensidad del suceso sino, también, de posibles inestabilidades no fácilmente perceptibles del sistema. De esta forma se puede plantear, desde la perspectiva de los sistemas dinámicos complejos que el *riesgo* caracteriza un estado del sistema socio-técnico –incluso las condiciones iniciales– y equivale a una situación de crisis potencial (Cardona 2001). Una bifurcación, que depende no solamente de la acción de un agente perturbador o detonante, que bien podría ser un suceso o un proceso acumulativo de deterioro, sino también de unas condiciones de inestabilidad –equilibrio al límite del caos–, que es el estado que favorece o facilita que se desencadene la crisis ante la ocurrencia del suceso detonante o la superación de un umbral crítico del proceso de deterioro. Metodológicamente este planteamiento puede expresarse (Ecuación 6.1) como:

$$Cp = Ta \cdot Ic \quad [6.1]$$

donde Cp (*crisis potential*) expresa la factibilidad de crisis, Ta (*trigger agent*) representa la posibilidad de ocurrencia de un agente detonante, e Ic (*instability conditions*) son las condiciones de inestabilidad del sistema (Cardona 1995/99a). Las condiciones de inestabilidad son debilidades o deficiencias que pueden ser de carácter ambiental o ecológico, demográfico o social, económico, institucional o político, cultural o ideológico, entre otras. Esta expresión, la ecuación 6.2, es más general que la propuesta previamente por el autor (1985) expresada mediante la ecuación 2.2 (descrita en el capítulo 2), que corresponde a un caso particular de comportamiento de un sistema dinámico específico, en el cual no solamente es importante el agente detonante o la perturbación, es decir la *amenaza*, sino las condiciones dinámicas de inestabilidad, o la *vulnerabilidad*. Lo que le da soporte al planteamiento de que la vulnerabilidad tiene especial incidencia en el potencial de desastre, que se traduce en la crisis en este caso. Los sistemas dinámicos no pueden olvidar las perturbaciones, excepto que sean *disipativos*, es decir poco vulnerables o “resilientes”.

La figura 6.1 representa la estabilidad de un sistema y los puntos de transición a un nuevo estado de comportamiento, mediante la ecuación logística $X_{n+1} = k X_n (1 - X_n)$. El valor de X representa el estado del sistema, mientras que el valor constante de k describe los parámetros o características del sistema que causan que este sea estable, oscilante, oscilante de manera compleja o caótico. El valor de k se encuentra entre 1.0 y 4.0. El sistema se bifurca aproximadamente en 3.0, y se mueve a una segunda bifurcación en $k = 3.5$, y en caos en aproximadamente $k = 3.66$. Sistemas con un k bajo son bastante resilientes o disipativos. Sistemas con un k alto son caóticos y operan en trayectorias inesperadas e impredecibles ante las fluctuaciones o perturbaciones. Según Priesmayer (1994), la información que provee el valor de k en sistemas sociales, obtenido de un proceso de regresión que permita detectar la ecuación logística subyacente, ofrece un iluminante indicador de la manera como operan dichos sistemas y la posibilidad de orientación la gestión que debe llevarse a cabo en ellos.

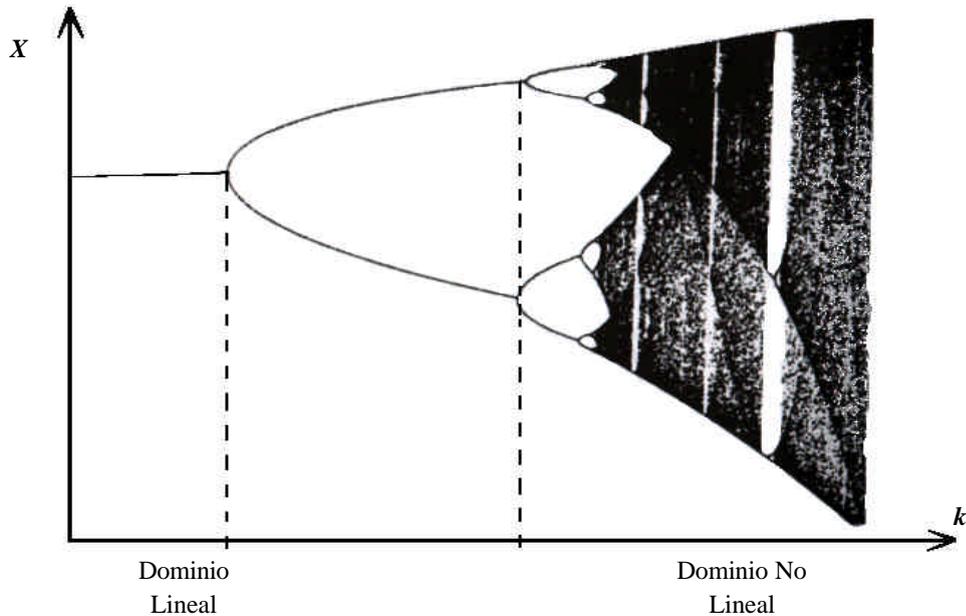


Figura 6.1: Estabilidad de un sistema y puntos de transición siguiendo la ecuación logística.

Con el soporte matemático de la teoría de bifurcaciones y centrándose preferentemente en un tipo particular de sistemas dinámicos (sistemas tipo gradiente) el matemático francés René Thom desarrolló una teoría sobre las singularidades especiales, o catástrofes, de determinadas familias de funciones (Carreras *et al.* 1990). Su teoría, que cuenta con tantos adeptos como detractores, resulta ser una herramienta útil en el estudio cualitativo de sistemas. La teoría de las catástrofes, o teoría de la bifurcación, da la impresión de ser la teoría del caos. Sin embargo, la primera es acerca de cómo cambian sistemas dinámicos estables cuando se altera el sistema un poco y la segunda es acerca de sistemas más complicados donde a los sistemas no es necesario alterarlos sino dejar que se desarrollen. Las dos ideas se pueden combinar y pensar acerca que pasa con estados caóticos cuando el sistema ha sido alterado un poco. Esta síntesis es la utilizada aquí para representar el proceso de riesgo y desastre de un sistema socio-técnico que es el asentamiento humano bajo la influencia de retroalimentaciones generadas con el ambiente natural. La teoría de las catástrofes en el lenguaje de hoy ofrece el estudio del comportamiento de sistemas dinámicos, que pueden tener uno o varios atractores. Cuando tienen varios, dependiendo de las condiciones iniciales es posible terminar en un comportamiento diferente. Una bifurcación puede conducir a un cambio de atractor, a uno desconocido, o a ninguno. El límite del caos se encuentra donde la información llega al umbral del mundo físico, donde consigue ventaja sobre la energía. La habilidad de reconocer la presencia de caos presenta una ventaja estratégica en el comportamiento “adaptativo” ante ese caos. En cada caso, será crítico identificar el grado de caos, distinguiendo entre el “borde del caos” y el caos total.

La ciencia de la complejidad trata de la estructura y el orden. Orden surgiendo de un sistema dinámico complejo; como por ejemplo: las propiedades globales que fluyen del comportamiento general de la sociedad. La estabilidad, es decir la defensa de un sistema a la acción del entorno es una propiedad emergente (Lewin 1995). En

conclusión, en sistemas en los cuales la estructura a gran escala es independiente de los finos detalles de la subestructura, *simplicidad* es la tendencia de que reglas sencillas emerjan del desorden y complejidad subyacente. La *complejidad* es la tendencia de sistemas interactuantes a coevolucionar de una manera que cambios en ambos conduzcan a un crecimiento de la complejidad desde simples inicios –complejidad que no es posible de predecir en detalle, pero cuyo curso general es comprensible y pronosticable (Cohen y Stewart 1994).

6.3.3 Sistemas disipativos en el borde del caos

Hoy la termodinámica es una ciencia clave para la comprensión y descripción general del *cambio*. El primer principio de la termodinámica corresponde a la ley de la conservación de la energía. El segundo, en su versión original, describe la evolución de un sistema aislado, que no intercambia energía ni materia con el exterior. El segundo principio de la termodinámica aporta la irreversibilidad del tiempo; el tiempo no como repetición sino como degradación o decadencia. En consecuencia, la *entropía* se plantea como una medida del desorden molecular, creciendo hasta un valor máximo: el equilibrio termodinámico. El segundo principio se convierte en una ley de desorganización progresiva; desde el orden hacia el caos. La propiedad más importante de la entropía radica, entonces, en que como resultado de procesos irreversibles, “orientados” en el tiempo, la entropía del universo (considerado como sistema aislado) va en aumento.

El equilibrio térmico fue por mucho tiempo pensado como el destino de todas las cosas vivientes, y del universo mismo. En efecto, la idea de equilibrio térmico llegó a ser un símbolo de la cultura popular a finales del siglo XIX resultado de la especulación que surgió por la preocupación de la eventual “muerte caliente” del universo. En los últimos decenios del siglo XX, sin embargo, la investigación en sistemas ordenados por procesos de *negentropía*, o entropía negativa, ha cambiado las ideas acerca de los procesos termodinámicos irreversibles y el rol de los mismos en un amplio rango de fenómenos de transformación. Negentropía, a diferencia de la entropía positiva, ocurre en una limitada serie de circunstancias, pero cuando se presenta sus implicaciones son profundas. Como su nombre lo indica, la negentropía representa una tendencia que va en contra de la entropía positiva y del sistema, en el cual ésta se produce, capaz de contrarrestar su descenso hacia el equilibrio térmico. Un sistema puede adoptar estructuras organizadas que son configuraciones improbables considerando el número de configuraciones posibles. Los procesos de negentropía son, por lo tanto, el material fundamental para el crecimiento y desarrollo de sistemas termodinámicos.

Esta contribución de la termodinámica a la teoría de los sistemas naturales parte de que los sistemas, en que pueden ocurrir estas particularidades, son abiertos y están sumergidos en algún entorno. Esto le da la capacidad a ciertos sistemas llamados *disipativos* de aumentar su complejidad o estructuración, transformando energía que proviene del ambiente, a través de mecanismos de aprovechamiento. Por lo tanto, para que los sistemas disipativos sostengan su crecimiento deben no solamente aumentar su potencial de negentropía, deben también eliminar entropía positiva que naturalmente se acumula a través del tiempo y que degrada la estructuración interna del sistema. Esto significa que, en la medida que los sistemas disipativos crecen y llegan a ser más complejos internamente, el precio de su incremento de complejidad estructural es el

aumento de entropía positiva. Dicha entropía es el desperdicio natural que resulta de los procesos por los cuales los sistemas disipativos se desarrollan; energía que se debe trasladar a su ambiente inmediato. Los sistemas disipativos, entonces, se caracterizan por una tensión dinámica entre su habilidad de acumular negentropía y su necesidad de transferir su entropía positiva al su medio ambiente. Si pueden soportar esta tensión, bajo circunstancias apropiadas, pueden lograr un estado de *entropía negativa neta* y persistir. De lo contrario el sistema se desarrolla hacia un estado de equilibrio termodinámico.

Siguiendo la teoría de estructuras disipativas (Nicolis y Pregogine 1989), la evolución de sistemas abiertos puede interpretarse como un movimiento del sistema fuera del equilibrio asociado con algunos procesos internos irreversibles, incrementa la tasa de disipación como medida por la producción de entropía. Inestabilidad, disparada por condiciones de no equilibrio ambiental, conduce a una mayor disipación y producción de entropía; ésta a su vez conduce a la aparición de nuevas inestabilidades. Lejos del equilibrio, la probabilidad incrementa que el sistema, con su proceso interno sea inestable con respecto a ciertas fluctuaciones.

La disipación de energía dirige la fuerza de la transformación. Esta se caracteriza por las condiciones de no equilibrio que dirigen al sistema a cruzar por un umbral crítico. Más allá de este umbral el sistema llega a ser "inestable estructuralmente" en relación con las fluctuaciones, las cuales conducen a incrementar la disipación y en un *loop* positivo de retro alimentación cambiar en el umbral.

Los sistemas abiertos para evolucionar deben evitar las situaciones de equilibrio. Sin embargo, en circunstancias de no equilibrio los sistemas pueden llegar a una situación de pseudo estabilidad que puede considerarse como una *situación estacionaria*. En tales casos en el sistema se produce cierta entropía positiva que, debido a su condición de abierto, la puede disipar totalmente al exterior. De esta manera la variación total de entropía es nula y el sistema mantiene su estructura constante. En conclusión, se necesita una termodinámica del no equilibrio para sistemas no aislados.

La termodinámica del no equilibrio parte del concepto de balance de entropía, introducido por Pregogine. El balance neto de la entropía es la suma algebraica de lo que se produce más lo que se intercambia. Sólo el término producción tiene un signo bien definido. Si se acepta la entropía como una medida del desorden, esta claro que los sistemas aislados tienen una evolución condenada hacia el máximo caos, pero en sistemas abiertos existe la posibilidad de una estructuración interior si la competencia entre los términos del balance (producción y flujo) se resuelve favorablemente.

Por lo tanto, para desarrollarse o evolucionar, un sistema disipativo debe buscar constantemente nuevos estados organizacionales y mantenerse en estados alejados del equilibrio, lo que le permite transformarse en una entidad más compleja. Ambas propiedades son fuentes de inestabilidad y por lo tanto de cambio potencial. La fuente interna de la inestabilidad de un sistema disipativo reside en su capacidad o propensividad de hacer *detecciones de frontera*. Los sistemas disipativos están constantemente tratando de transformarse, moviéndose de su estado actual de equilibrio hacia algún estado alternativo. A menudo no reciben la energía del ambiente para sostener su transformación evolutiva, pero cuando la detección coincide con un repentino y sostenido incremento de energía, debido a su condición o estado alejado del equilibrio, pueden desestabilizarse. Una perturbación puede forzar el sistema a

abandonar su estado previo de referencia e iniciar su desarrollo hacia una nueva configuración. En esta aproximación dada por Pregogine (1996), la racionalidad ya no puede seguir siendo identificada con la “certeza”, ni tampoco la probabilidad con la “ignorancia”.

La diferenciación de los seres vivos se consigue disipando más entropía de la que se produce. Los sistemas vivos roban orden a su ambiente por medio de un flujo de neguentropía. La misma termodinámica de los procesos irreversibles ofrece una nueva alternativa: el *orden por fluctuaciones* y el concepto de *estructura disipativa*. Cuando los sistemas se alejan mucho del equilibrio, la situación deja de describirse como una prolongación lógica de dicho estado. Los sistemas dejan el llamado régimen lineal de la termodinámica para entrar en el no lineal. En este régimen aparecen discontinuidades e inestabilidades, el estado estacionario compatible con las condiciones que impone el ambiente ya no es único y las fluctuaciones espontáneas –antes siempre condenadas a regresar– pueden amplificarse y arrastrar los sistemas hacia nuevos e imprevistos estados estables. Resulta pues muy interesante resaltar aquí la reconciliación entre azar y determinismo. La descripción de un sistema con bifurcaciones implica la coexistencia de ambos: entre dos bifurcaciones reinan las leyes deterministas, pero en su inmediata vecindad de tales puntos críticos reina el azar. Esta rara colaboración entre el azar y determinismo es un nuevo concepto de historia que propone la termodinámica moderna: *la esencia del cambio*.

Este proceso evolucionario empieza con la aparición de comportamiento bifurcacional, que es un comportamiento fluctuante que envía el sistema a un movimiento oscilatorio entre dos o más nuevos puntos de equilibrio posible. Estas oscilaciones cíclicas indican que el sistema disipativo en cuestión se ha sea desestabilizado y ha entrado en fase caótica. En este punto dos cosas pueden suceder: el sistema se mantiene caótico, oscila siempre más rápidamente, y eventualmente se destruye el mismo, o la fluctuación se amortigua tanto como el sistema se asienta en una nueva configuración. Cuando esto ocurre el sistema se ha desarrollado, se ha reorganizado alrededor de una nuevo punto de referencia en el cual inicia su comportamiento de detección de frontera. Esta detección continua hasta que una nueva perturbación o fuerza ocurre y una nueva conjunción de condiciones externas e internas una vez más empujan el sistema a una nueva trayectoria evolucionaria. Los sistemas disipativos son, por lo tanto, entidades estructuradas caóticamente lejos del equilibrio y exhiben la denominada dependencia sensible a las condiciones iniciales.

A menudo se trata el caos en función de las limitaciones que impone, verbigracia, la falta de predecibilidad. Sin embargo, la naturaleza puede usar el caos de manera constructiva. A través de la amplificación de pequeñas fluctuaciones puede facilitar a los sistemas naturales el acceso a lo nuevo. La evolución biológica, por ejemplo, necesita de la variabilidad genética: el caos proporciona un medio de estructurar los cambios al azar, haciendo así posible que la variabilidad esté bajo el control evolutivo.

La naturaleza esta hecha de sistemas dentro de sistemas de manera indefinida. Con referencia a un determinado sistema cualquier perturbación que venga de fuera, o no sea “anticipable” desde dentro del sistema de referencia, representa una entrada de energía que destruye más o menos parcialmente un *pattern* existente y vuelve a poner en marcha un proceso que sigue ciertas vías y acaba, a su vez, al perder energía disponible, atascado en el dominio de complicación creciente. Existe un interesante espectro de frecuencias de los distintos cataclismos. El día y la noche representan

realmente algo traumático para muchos organismos; lo mismo ocurre con las estaciones, con los períodos de sequía, las inundaciones, los terremotos, las glaciaciones, las colisiones de asteroides y así sucesivamente. Lo que se debe retener en este punto es la asimetría en los cambios: la entrada de energía (la energía recibida), la perturbación y el volver a poner el sistema en una situación “inicial”, donde el despertar o recomenzar el proceso, es rápido; pero la “evolución” normal y gradual que conduce a las etapas de gran complejidad puede prolongarse indefinidamente.

Una analogía visual de un sistema en un estado crítico, estado cuasi-estable, es el montón de arena. Al conformarse por un flujo de arena continuo, el montón crece con firmeza hasta pronto alcanzar el límite. Lo que era un montón pequeño va elevándose cada vez más, hasta que, de repente, más arena puede desencadenar una pequeña avalancha y luego una grande, avalanchas de todas clases. El montón, cuando no recibe más arena adicional, representa el equilibrio en estado crítico y las avalanchas de toda gama de tamaños, provocadas por perturbaciones de la misma magnitud (otro grano de arena), representan una distribución exponencial de la respuesta: la marca de un sistema que ha alcanzado el estado crítico. Que ha alcanzado, posiblemente, el límite del caos.

Un gráfico con la magnitud de las extinciones y su frecuencia es muy parecido a una ley exponencial. No es una línea recta es ligeramente convexa (en logaritmos sería una línea recta descendente de izquierda a derecha). El mundo está en equilibrio en el límite del caos (en el borde del caos), sólo que ligeramente del lado congelado del caos (Kauffman 1993).

Los fenómenos de la naturaleza peligrosos para un asentamiento humano, como los terremotos, son la expresión del cambio en el ambiente en el cual se encuentra el sistema socio-técnico. Una configuración geológica, en efecto, es un sistema dinámico, no lineal, abierto, donde el levantamiento tectónico y la actividad sísmica representan la entrada; la masa perdida por el desperdicio y la degradación del relieve representan la salida (Keller y Pinter 1996; Brumbaugh 1999). Es el principio de antagonismo que establece que hay dos tipos de procesos activos en la formación de un paisaje en cualquier instante: el endógeno o tectónico y el exógeno o meteórico (Scheidegger 1987). Generalmente, estos dos procesos hacen más o menos un balance el uno en el otro de tal manera que el paisaje geológico es el resultado del cambio de un sistema complejo cuasi-estable o en estado crítico.

La aparente “estabilidad” se debe al hecho de que los sistemas dinámicos, no lineales, abiertos tienden a desarrollarse en estados cuasi-estables, ordenados en forma auto-organizada en el borde del caos, con un atractor fractal. Estos sistemas restablecen el orden en pasos de varias magnitudes los cuales tienen una distribución que obedece a una ley exponencial. En un conjunto fractal de dimensión d , existe una ley de potencia para subconjuntos: El número N de subconjuntos de “tamaño” (lineal) L es proporcional a $L \exp(-d)$. La curva de recurrencia de magnitudes de los terremotos ilustra el cumplimiento de dicha ley de potencia fractal –los sucesos de magnitud grande son escasos y los de magnitud pequeña son comunes– y la existencia de un dominio auto-estructurado. La saturación (sismos máxima magnitud) indica las limitaciones de la ley y de paso las fronteras del dominio.

En el sistema socio-técnico –el asentamiento humano–, los “desastres” no son otra cosa que sucesos sociales de diferentes magnitudes. Al igual que en su entorno natural, estos eventos están gobernados por una ley exponencial. El asentamiento humano es una configuración o estado cuasi-estable que no corresponde simplemente a una

situación de equilibrio dinámico, sino más bien a un orden auto-organizado o auto-estructurado; resultado de múltiples perturbaciones internas y externas, entre otras: desastres. Las condiciones de vulnerabilidad del sistema socio-técnico, en todas sus dimensiones (física, económica, social, política, etc.) caracterizan su inestabilidad que favorece la ocurrencia de crisis. Se trata de esa “susceptibilidad” del sistema complejo no lineal que representa su condición de estado crítico o de estar en el borde del caos.

6.4 Representación conceptual de riesgo, desastre y gestión

Un sistema socio-técnico como el asentamiento humano es, termodinámicamente, un sistema abierto, es decir intercambia materia y energía con su ambiente, que en este caso es al ambiente natural. El balance entrópico refleja en qué forma puede mantenerse una situación o estado estacionario; es decir la estructura o configuración física y social del asentamiento humano. El sistema envía al ambiente toda la entropía que en su interior se produce, lo que puede llegar a afectar nocivamente al ambiente, degradándolo, e incluso desencadenar respuestas de ese ambiente impactado. La persistencia del sistema en un estado estacionario equivale entonces a la conservación de una estructura o grado de organización; que en este caso sería la estructura urbana y de la sociedad misma del asentamiento humano, que se mantiene extrayendo orden del ambiente. Por otro lado, la evolución desde una configuración, supone la adquisición de dicha estructura final al interior del medio natural, o, si se quiere, la acomodación interna del sistema a las condiciones impuestas desde afuera, como el clima, los cambios de la geodinámica interna y externa, etc. Se trata de la primera componente de la nueva esencia del cambio: la adaptación de un sistema a su entorno. Dentro del régimen lineal, la estabilidad del estado estacionario está asegurada, esto es, cualquier perturbación fortuita que suponga un desplazamiento con respecto a dicho estado es vencida por el sistema que tiende a restituirse en la situación estacionaria. Es *persistencia* del sistema socio-técnico o su *resiliencia* ante perturbaciones que ocurren a su interior o que provienen del ambiente; y que puede disipar o absorber. Si se le llama fluctuaciones a tales las desviaciones azarosas, se puede decir que, en los procesos de adaptación termodinámica, las fluctuaciones no tienen la oportunidad de progresar, se amortiguan y no llegan a trascender macroscópicamente. Las fluctuaciones regresan. En este caso, la producción de entropía es una magnitud no negativa que decrece durante cualquier evolución y que se hace constante y mínima una vez se ha alcanzado el estado estacionario. Desde el punto de vista ambiental y urbano esta circunstancia significa el *desarrollo sostenible* y una alta resiliencia ante los fenómenos ambientales. Esta es una ley física, enunciada y demostrada por Prigogine bajo la denominación del principio de la mínima producción de entropía, para el fenómeno de un sistema adaptándose a su entorno. Es la “anticipación” para evitar la crisis que pueda significar un cambio de estado o hasta la destrucción misma del sistema. Esto, desde la perspectiva del riesgo y los desastres, no es otra cosa que la *prevención-mitigación* o la *reducción del riesgo*.

Superada una distancia crítica del equilibrio, es decir cuando se tiene un alto grado de *vulnerabilidad*, las ecuaciones cinéticas y fenomenológicas se hacen no lineales. Hay más de una solución. Las soluciones se bifurcan, pero sólo una es la verdadera, sólo una representa la realidad del sistema. La pregunta es ¿cuál? El azar decide. Incluso una mínima fluctuación (antes irrelevante) decide ahora el futuro del sistema

macroscópico. Es la situación de *alto riesgo*, los sistemas dejan de adaptarse y tienden a nuevos e imprevisibles estados por su alejamiento del equilibrio. El atractor en este momento vigente caracteriza el *riesgo*, es decir, la posibilidad de cambio o mutación, que en el sistema socio-técnico podría significar el *desastre*.

Para reducir la entropía, o el desorden, que se produce en los sistemas sociales es necesario conseguir negentropía que intente reducir o al menos neutralizar el proceso. Esto se traduce en un esfuerzo y un “coste” que debe asumir la sociedad con el fin de evitar el aumento y la acumulación paulatina de la *vulnerabilidad*. Actualmente la velocidad de los procesos de aumento de vulnerabilidad supera la velocidad de los procesos de solución o intervención de la misma. y un cambio de dirección significaría una “bifurcación” (Cardona 1999a) o un nuevo paradigma cuyo coste social sería relativamente igual o más alto al que causó la revolución industrial o la revolución sanitaria en siglos anteriores. Infortunadamente, el coste social de no cambiar la situación actual es también enorme y será cada vez mayor. Al respecto, miembros del Club de Roma han planteado desde los años 1970 que el pago no equitativo del coste social del proceso continuo de deterioro ambiental, que bien puede asimilarse al planteamiento anterior, y los límites del crecimiento que se establecen en términos ambientales, permiten proyectar escenarios factibles (estados del mundo) de colapso global para este siglo que se inicia (Meadows *et al.* 1994).

Elegir un sistema significa definir la frontera que le separa de su entorno. Se trata de una superficie real o ficticia, pero permeable en principio al paso de la información (influencias) en sus dos sentidos: el sistema al entorno y del entorno al sistema. La cantidad de información contenida en la fuente depende de su diversidad potencial de comportamiento. Es la “complejidad del sistema”; primera cantidad fundamental. La complejidad del entorno, es la “incertidumbre” del mismo; segunda cantidad fundamental. La tercera cantidad fundamental es la “capacidad de anticipación” del sistema que está relacionada con qué parte de la información emitida es recibida, es decir de qué tan menor es el error: Esto significa que el sistema conoce bien su entorno. El error inverso, cuanto menor sea, mayor influencia hay del sistema en el entorno; es decir, se ve más afectado. Es la “sensibilidad del entorno”; cuarta cantidad fundamental (Wagensberg 1998). Se trata de las mutuas influencias entre el asentamiento humano (el sistema socio-técnico) y el ambiente natural. La complejidad del ambiente se caracteriza por la incertidumbre que hay en la dinámica de sus influencias o sucesos que pueden causar efectos en el sistema. Estos son flujos (recursos naturales) o descargas de energía (terremotos, erupciones volcánicas, huracanes, etc.) que siguen una ley de potencia, ante los cuales el sistema debe anticiparse para beneficiarse, mejorando su estructura y aumentando su complejidad (desarrollo social, urbano, etc.), y adaptándose en forma *preventiva* para que la influencia de los sucesos naturales no le sea nociva, mediante procesos de *gestión del riesgo*.

La información neta que llega a un destino se obtiene, lógicamente sustrayendo el error a la información de la fuente. Por lo tanto: la complejidad del sistema, que paradójicamente caracteriza su susceptibilidad S_s (*susceptibility of the system*), menos su capacidad de anticipación con respecto a su entorno, o persistencia P_s (*persistence of the system*), no es más que la información o influencia que el entorno introduce al comportamiento del sistema I_e (*influence of the environment on the system*). Esta influencia es igual a la incertidumbre del entorno U_e (*uncertainty of the environment*), menos su tendencia a mantenerse estable, u homeóstasis H_e (*homeostasis of the*

environment), que en sentido inverso representa la sensibilidad del entorno. Así, la incertidumbre del entorno menos su sensibilidad *Se* (*sensitivity of the environment*), no es más que la información o influencia *Ise* (*influence of the system on the environment*), que el comportamiento del sistema suministra al comportamiento del entorno, lo que se puede expresar en forma general (Ecuaciones 6.2 y 6.3):

$$S_s - P_s = I_{es} \quad [6.2]$$

$$U_e - H_e = I_{se} \quad [6.3]$$

la condición de equilibrio estacionario por mutuas influencias (Ecuación 6.4) implica que:

$$I_{es} \sim I_{se} \quad [6.4]$$

por lo tanto, se puede establecer la siguiente equivalencia (Ecuación 6.5):

$$S_s - P_s \sim U_e - H_e \quad [6.5]$$

ambos mensajes contienen las mismas cantidades de información. Una perturbación en un término de la ecuación requiere el ajuste de los otros tres. Si aumenta, por ejemplo, la incertidumbre del entorno (lo más desconocido), el sistema debe aumentar su complejidad, esmerar su capacidad de anticipación, o inhibir su efecto sobre el entorno.

Usualmente, por los desequilibrios sociales y económicos los sistemas más desarrollados explotan a los menos (Margalef 1986) y los ponen a disipar más entropía, lo que se traduce en deterioro de la calidad urbana, pobreza, segregación social y un aumento diferencial de la *vulnerabilidad*; lo que aumenta la complejidad y también la inestabilidad del sistema. La *degradación ambiental* causada por las influencias del asentamiento humano sobre el hábitat natural, debido a la sensibilidad del entorno reduce su homeóstasis, lo que se traduce en efectos que aumentan su incertidumbre y, por lo tanto, el potencial de *fenómenos peligrosos* contra el mismo sistema socio-técnico.

Se puede definir el “desorden” como la entropía presente dividida por la entropía máxima posible. Entre cero y uno. Normalmente la entropía y el desorden aumentan a la vez aunque formalmente se ha podido desenganchar los conceptos de entropía y desorden; “orden” + “desorden” = 1 Pero al aumentar el espacio o la entropía máxima el desorden puede disminuir. Entropía y orden aumentan al contrario de lo que se espera. (Wagensberg 1998). De la misma manera se puede proponer que “persistencia” + “vulnerabilidad” = 1 y que “homeóstasis” + “sensibilidad” = 1. Esto se puede expresar de la siguiente forma (Ecuaciones 6.6 y 6.7):

$$P_s + V_s = 1 \quad [6.6]$$

$$P_s = 1 - V_s \quad [6.7]$$

reemplazando la Ecuación 6.7 en la Ecuación 6.5 se puede escribir (Ecuación 6.8):

$$S_s - 1 + V_s \sim U_e - H_e \quad [6.8]$$

además, se tienen las Ecuaciones 6.9 y 6.10,

$$He + Se = 1 \quad [6.9]$$

$$He = 1 - Se \quad [6.10]$$

lo que permiten expresar la equivalencia de la siguiente forma (Ecuaciones 6.11 y 6.12):

$$Ss - 1 + Vs \sim Ue - 1 + Se \quad [6.11]$$

$$Ss + Vs \sim Ue + Se \quad [6.12]$$

los dos términos de la izquierda de la Ecuación 6.12 expresan la susceptibilidad interna o intrínseca del sistema socio-técnico y su *vulnerabilidad* ante acciones externas. Es decir, las condiciones de inestabilidad que determinan el potencial de crisis o *desastre*. Es lo que aquí se le ha denominado: *riesgo*; el cual es función de los dos términos de la derecha de la Ecuación 6.12, que expresan la incertidumbre interna o propia de procesos dentro del ambiente y su sensibilidad ante las acciones externas que lo afectan. Es decir, el potencial de sucesos o agentes detonantes, que aquí se les ha denominado *amenazas*.

Cuando en el antagonismo del sistema-entorno se sortean todas las dificultades y se consigue no violar la ley fundamental, entonces se dice que hay “adaptación”. El sistema socio-técnico adecua su estructura para seguir siendo compatible con su ambiente. El sistema se adapta. Cuando esto no es posible, cuando una perturbación (fluctuación) en uno de los términos no puede ser absorbida por una respuesta de los otros tres, la adaptación se rompe y el sistema entra en crisis: se presenta el *desastre*. El sistema entonces, o bien se destruye, o bien cambia a otra nueva estructura; es decir, se auto-organiza o se reconstruye con una mayor capacidad o defensa de su ambiente. Sobreviene una bifurcación en cualquier caso.

El éxito del sistema socio-técnico se observa claramente en la historia a través de estos conceptos: la sociedad y su unidad humana son cada vez más complejas. La ciencia le provee de un poder de anticipación cada vez mayor –*la prevención*– y su tecnología le asegura cada vez más independencia frente a los caprichos ambientales o *fenómenos peligrosos*. Los sistemas complejos adaptativos son buscadores de pautas. Interaccionan con el entorno, aprenden de la experiencia y, como resultado, se adaptan. Así, las adaptaciones son un comportamiento determinista y las autoorganizaciones son comportamientos indeterministas, como resultados positivos posteriores a una crisis. Los sistemas adaptativos, como los asentamientos humanos, pueden hacer compatible consigo mismos el ambiente natural en que se encuentran. Pueden lograr adaptarse logrando una estructura característica, en el borde del caos, en que sus influencias con el ambiente estén mutuamente equilibradas. Eso es la *sostenibilidad*; una propiedad que puede emerger de este sistema socio-técnico si se logra establecer una adecuada anticipación o lo que aquí se le denomina la *gestión del riesgo*.

La toma de decisiones y otros aspectos del manejo de estos sistemas están llegando a ser cada vez más difíciles. Los asentamientos humanos son sistemas dinámicos complejos que se desarrollan en dominios de inestabilidad y pueden emerger en nuevas estructuras urbanas a causa de *desastres*. Es difícil conocer con precisión el estado de inestabilidad o *vulnerabilidad* de un sistema complejo de este tipo. Por lo tanto políticas y decisiones de *gestión del riesgo* deben ser desarrolladas para *prevenir* la

precipitación del sistema en un inesperado estado de inestabilidad (vulnerabilidad creciente) o de reconfiguración (reconstrucción post-desastre). Teniendo en mente la gestión del riesgo y considerando que la vulnerabilidad refleja las condiciones de inestabilidad, entonces el entendimiento de las características de los sistemas disipativos es fundamental para estimular una acción colectiva efectiva para reducir el riesgo.

Comfort (1999) identifica cuatro condiciones como las necesarias, aunque no suficientes, para iniciar una transición de un sistema organizativo: la articulación de conceptos y significados comunes entre los actores sociales; la confianza entre quienes dirigen las instituciones y los ciudadanos; la resonancia entre las instituciones en la búsqueda del cambio y los suficientes recursos y la capacidad institucional para sostener la acción colectiva. De estas condiciones depende que prevención-mitigación, la preparación para emergencias y la capacidad de respuesta ante un desastre.

La coordinación de las operaciones en caso de desastre, por ejemplo, debe llevarse a cabo de manera amplia y a través de diversos medios. Esta se basa fundamentalmente en procesos de búsqueda de información, intercambio y retroalimentación que facilitan un aprendizaje intra e inter institucional ante la situación de crisis.

La interpretación de los sistemas dinámicos complejos que aquí se ha expuesto aparte de representar la dinámica del riesgo y la vulnerabilidad también permite representar la situación de desastre y la respuesta al mismo por parte del sistema socio-técnico. En cualquier caso si el sistema no se destruye por completo debe adaptarse y ese proceso de ajuste podrá ser más o menos rápido y eficiente dependiendo de sus posibilidades reales de adaptación. En términos de Stuart Kauffman (1993), cuando se presenta un desastre la respuesta que emerge en el sistema socio-técnico representa un movimiento hacia el orden del caos que significa el desastre. Kauffman sustenta que todos los sistemas operan en un continuo entre caos y orden y que los sistemas en el extremo de ese continuo tienden a moverse hacia el centro. Es decir, que sistema en condiciones de caos se moverá hacia el orden y en una situación de orden el sistema se moverá hacia el caos. En el centro del continuo entre caos y orden se encuentra el “borde del caos” donde según Kauffman hay suficiente “estructura” para soportar y intercambiar información y suficiente “flexibilidad” para adaptarse a las condiciones ambientales. En esta región estrecha, en el borde del caos, un sistema podría ser capaz de dar una respuesta creativa a las condiciones exigentes de una situación de crisis. El balance entre estructura y flexibilidad es el criterio que define la adaptabilidad de un sistema en el proceso de respuesta en un ambiente dinámico. Lo que equivale, en el caso de una sociedad o un asentamiento humano, la integración de los componentes técnicos y organizacionales que facilita a las instituciones la capacidad para atender rápidamente y efectivamente las demandas que surgen de la complejidad que se desencadena. La respuesta en caso de desastre involucra un proceso paralelo y no lineal. Las condiciones locales gobiernan el curso inicial de la acción de la respuesta y ésta se desarrolla simultáneamente por muchos actores en diferentes lugares. Las decisiones que se toman en ciertas situaciones críticas son la base de las interacciones posteriores. El grado de resiliencia o la capacidad para adaptar los recursos y capacidades existentes a nuevas situaciones y condiciones operativas está directamente relacionada con el grado de acceso a y el intercambio de información en un sistema en proceso de cambio y ajuste. Los requerimientos de acción en sistemas sociales complejos dependen de la efectividad y amplitud de los procesos de información y comunicación que operan en el sistema. La acción colectiva requiere,

primero, estructura para la efectiva movilización de recursos, segundo, exhibir flexibilidad adaptativa para la acción.

El estudio de casos, en particular de desastres originados por terremotos (Comfort 1999) indica que se pueden presentar cuatro tipos de respuesta dependiendo de la estructura técnica, la flexibilidad y la apertura cultural al uso de tecnología en el sistema socio-técnico. Estos tipos de respuesta son: respuesta no adaptativa (inadecuada para nivel de riesgo que existe), adaptativa emergente (insuficiente pero aceptable movilización), adaptativa operativa (reacción adecuada con restricciones) y auto adaptativa (innovadora, creativa y espontánea). Cada tipo de adaptación corresponde a una respuesta del sistema socio-técnico según el nivel de efectividad de su estructura técnica y nivel de organización, los cuales producen varios patrones de acción, inacción, innovación y determinación para restaurar las funciones de la comunidad.

Louise K. Comfort de la Universidad de Pittsburgh, con base en los planteamientos aquí expuestos –que el autor ha compartido con esta investigadora desde hace varios años– y el estudio que realizó sobre once desastres causados por terremoto en diferentes países propone un modelo que identifica cinco fases o estados en la evolución de la respuesta operativa después de un desastre: las condiciones iniciales (que a criterio del autor corresponden al riesgo mismo), la búsqueda de información, el intercambio de información, el aprendizaje intra e inter institucional y el comportamiento adaptativo. El primer estado representa las condiciones existentes en la comunidad antes del terremoto. Estas condiciones incluyen no sólo las características físicas de la comunidad sino también sus condiciones sociales, económicas y políticas, las cuales inciden en la capacidad organizacional para la acción colectiva. Una vez ocurrido el sismo se desencadena la necesidad de recuperación de la comunidad y se activan una serie de procesos de información –búsqueda e intercambio de información– que sirven como base para la acción colectiva. Estos procesos interactivos conducen a un aprendizaje al interior de las instituciones de manera individual, las cuales contribuyen a su vez a esquemas interinstitucionales entre las entidades involucradas en las operaciones de respuesta.

Las tres fases dinámicas –búsqueda de información, intercambio de información y aprendizaje intra e inter institucional– culminan en un comportamiento adaptativo, el cual representa un ajuste ante el desastre, que no es más que la respuesta ante el mismo. El grado de coherencia alcanzado en dicha respuesta refleja la amplitud con que la comunidad ha sido capaz de llevar a cabo las tareas para enfrentar las demandas urgentes causadas por el impacto del fenómeno. La coherencia, según Comfort (1999) se puede medir con el número, densidad y tipo de transacciones o interacciones realizadas entre las instituciones involucradas durante las operaciones de respuesta. Según Priesmayer (1994) dicha coherencia se puede estimar evaluando las diferentes funciones de respuesta ante un desastre, lo que se puede estimar con el análisis de regresión logística no lineal desarrollado por el mencionado investigador. Las figuras 6.2 y 6.3 ilustran dos casos en los cuales hay y no hay un comportamiento caótico en funciones como la recuperación y reconstrucción por entidades del sector privado y la evaluación de daños por parte de instituciones públicas (durante un lapso de 21 días) en el desastre causado por el sismo de 1987 en el Ecuador.

La metodología utilizada para estas estimaciones se basa en el modelo N-K propuesto por Kauffman (1993). Este investigador sugiere que el aumento de la complejidad en sistemas dinámicos complejos se puede representar considerándolos como sistemas N-K, donde N es el número de componentes dentro del sistema y K el número de interacciones

entre ellos. En un sistema N-K el proceso de coevolución depende del número de partes que interaccionan y de la frecuencia, el contenido y la dirección del flujo de información entre ellas. Aún mas, dicha coevolución depende de la selección que hacen los componentes del sistema al aceptar o rechazar el intercambio de información y en adaptar su comportamiento de acuerdo con sus acciones reciprocas. Así, para que haya cambio se requiere de orden y flexibilidad, de acción y reacción.

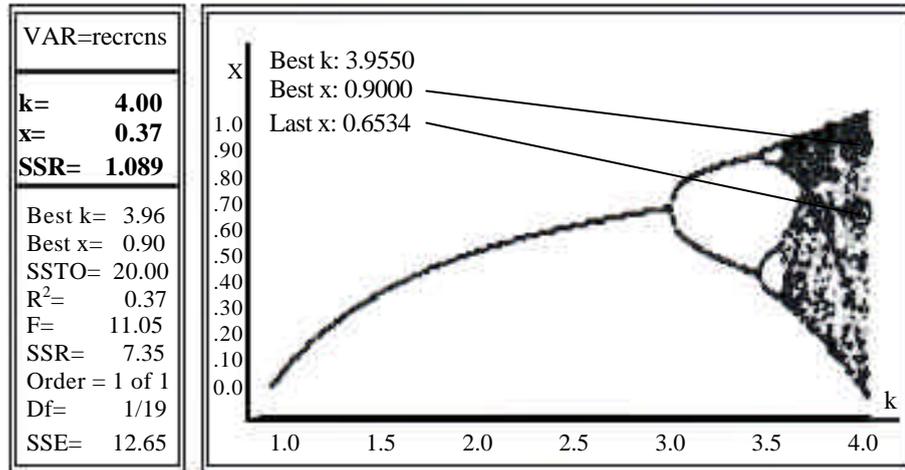


Figura 6.2: Regresión logística de la acción de organizaciones privadas en la recuperación y rehabilitación en el desastre sísmico de Ecuador 1987.

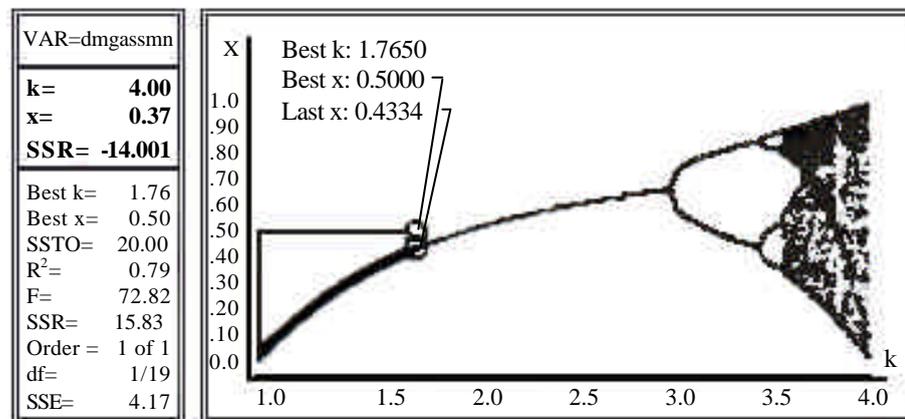


Figura 6.3: Regresión logística de la acción de instituciones públicas en la evaluación de daños en el desastre sísmico de Ecuador 1987.

Modelar en un sistema dinámico complejo no es buscar identificar una secuencia de relaciones causales que confiablemente produzcan unos resultados específicos. Mas bien, es identificar qué pasos se están dando a través de un espectro de muchos posibles cursos de acción y obstáculos, en un proceso en desarrollo que es guiado por una meta específica. En términos del método científico, el concepto de causalidad pasa a ser una abstracción de segundo orden en el estudio de sistemas no lineales. En este caso el

problema de política pública no es cómo lograr un resultado específico, sino más bien cómo generar y sostener un proceso de acción y consulta interactiva que, a través de su operación, conduzca a sus miembros a crear nuevas y más apropiadas estrategias y prácticas para responder a las necesidades de su ambiente.

El comportamiento adaptativo entre instituciones significa la capacidad de cambiar no sólo acciones sino prioridades para localizar recursos y atender las nuevas e inmediatas demandas que la crisis genera. Este cambio ocurre más eficientemente cuando las comunidades son capaces de “auto-organizarse”, es decir de reordenar sus prioridades y acciones de manera espontánea o sin la imposición de controles externos.

6.5 Técnicas para la modelización

Para modelizar un sistema con fines de predicción o pronóstico existen diversas técnicas o herramientas. Tratándose de una representación del riesgo sísmico desde una perspectiva holística, algunas herramientas pueden ser más apropiadas que otras, debido al enfoque multidisciplinar y a la naturaleza de las variables que se desean involucrar. En particular cuando se trata de modelizar un sistema socio-técnico, como un asentamiento humano, el cual puede ser tan complejo como se quiera. Algunas herramientas que podrían ser utilizadas son la simulación (de la dinámica del sistema) y la evaluación multiobjetivo o multicriterio para la toma de decisiones, que puede estar basada en matrices de análisis de impacto o en redes de interrelación (Garret 1999).

En el primer caso, la estructura interna del sistema y de sus relaciones usualmente se mantienen fijas y el analista cambia ciertas condiciones, con el fin de estimar la respuesta del sistema cuando se procesa con unas condiciones específicas. La simulación puede ser determinista o estocástica, discreta o continua, lineal o no lineal, lo que hace en cada caso más complicado y eventualmente más confuso el proceso de la estimación de escenarios futuros. Su interés usualmente es identificar las causas subyacentes del comportamiento del sistema, aunque en algunas ocasiones se desarrolla con fines de predecir “futuros” con base en información histórica o para optimizar o identificar las mejores soluciones. Un ejemplo notable de este tipo de técnica, aplicada para la estimación de escenarios de potencial “sobrepasamiento”, crisis o “colapso” (estados del mundo), ha sido el modelo World3, desarrollado en M.I.T. por los hermanos Dennis y Donella Meadows, por solicitud del Club de Roma. Mediante este modelo tanto en los años 70 como, posteriormente, en los años 90, cuando se realizó la versión World3/91 en lenguaje de simulación STELLA, se ratificó que de seguir el actual crecimiento exponencial de la población, del capital, de la utilización de recursos y de la contaminación en el mundo será inevitable su colapso. (Meadows *et al.* 1974, 1994).

Ahora bien, la segunda posibilidad es la evaluación multicriterio, que también ha servido para representar situaciones o estados de sistemas dinámicos, complejos o no lineales. Puesto que este tipo de evaluación está basada en una racionalidad “constructiva” y permite tener en cuenta aspectos y efectos inciertos, inconmensurables, multidimensionales y conflictivos, es un marco de estimación prometedor para realizar evaluaciones integrales (macro y micro) y para la toma de decisiones en ambientes de múltiples variables (Munda 2000). Por ejemplo, la evaluación ambiental integrada (EIA), evaluaciones macroeconómicas, contabilidad verde o índices de sostenibilidad.

Este proceso se inicia con la identificación de variables imaginables que puedan “representar” o “reflejar” el estado de un sistema. Estas variables pueden no tener comparabilidad fuerte o conmensurabilidad. El análisis jerárquico o estructural de las variables (indicadores) es el paso siguiente. Consiste en determinar el impacto de cada variable en todas las demás o su influencia, con el objetivo de determinar su “peso” o importancia, para lo cual se conforman matrices de relaciones. Esta actividad se puede realizar teniendo en cuenta la opinión de expertos o de diversos actores sociales involucrados, si es necesario, utilizando el método Delphi (proceso de consenso y retroalimentación con el anonimato de los participantes). La evaluación multicriterio es una técnica para la toma de decisiones que permite involucrar diferentes perspectivas, por ejemplo la estimación del riesgo sísmico desde un punto de vista físico, económico, social, político, institucional, etc. Técnicas de evaluación multidisciplinar, como la mencionada, basadas en indicadores o índices han sido recomendadas recientemente por diversos especialistas con fines de reformular políticas públicas de prevención y reducción de riesgos (Maskrey *et al.* 1998; Comfort *et al.* 1999; BID 2000; Benson 2001; Cannon 2001; Wisner 2000, 2001; UNDP 2001).

Por lo tanto, el autor optó aquí por utilizar la segunda técnica de las dos antes mencionadas, dado que no se pretende simular la dinámica del asentamiento humano y la manera como se desencadena un desastre a causa de un terremoto. El objetivo de la modelización es, más bien, estimar el estado del sistema dinámico antes de que ocurra el suceso, caracterizado por su inestabilidad o “vulnerabilidad” que lo puede llevar a la crisis. Dicho estado corresponde al riesgo sísmico del asentamiento humano, que puede interpretarse como un atractor hacia donde la dinámica del sistema esta orientada durante el tiempo anterior a la manifestación sísmica o como las condiciones iniciales de las cuales depende la respuesta del sistema en el momento que es perturbado.

La prevención o reducción del riesgo sísmico es la política pública que se desea estimular con la estimación holística del riesgo sísmico urbano. Se intenta identificar las circunstancias que favorecen o facilitan que el desastre sísmico se presente, con el fin de “anticiparse” y lograr que el sistema pueda adaptarse y disipar la influencia del fenómeno peligroso. El proceso de elaboración de una política pública, a diferencia de lo que muchos creen, esta muy ligado a la técnica de evaluación que se utilice para orientar dicha política (Corral 2000). La calidad de la técnica de evaluación, llamada por algunos su *pedigree* científico, tiene una influencia insospechada en la elaboración de la política. Si el diagnóstico, por ejemplo, invita a la acción es mucho más efectivo que si sus resultados se limitan a identificar la simple existencia de debilidades o falencias.

La calidad se entiende como la habilidad de un producto para satisfacer unos determinados requisitos o atributos deseables que, en este caso, debe tener la técnica de evaluación (Funlowicz y Ravetz 1990, 1992). Estos atributos son su “aplicabilidad”, “su transparencia”, su “presentación” y su “legitimidad”. Del cumplimiento de estos atributos o propiedades de la técnica de evaluación dependerá su *pedigree* científico.

La aplicabilidad está ligada a la adecuación del modelo al problema, a su alcance y completitud; a la accesibilidad, aptitud y fiabilidad de la información requerida. La transparencia esta relacionada con la estructuración del problema, la facilidad de uso, la flexibilidad y adaptabilidad, y con la inteligibilidad o comprensión del modelo o algoritmo. La presentación se relaciona con la transformación de la información, la visualización y comprensión de los resultados. Finalmente, la legitimidad esta ligada con

el papel del analista, el control y contrastación, la posibilidad de verificación y la aceptación y consenso de los evaluadores y tomadores de decisiones.

Para la modelización, el autor propone una representación simplificada pero multidisciplinar del riesgo sísmico urbano, basada en una “parametrización” de rasgos o variables que representen o reflejen aspectos o factores de dicho riesgo. Esta parametrización no es más que un modelo formulado de la manera más realista posible, al que continuamente se le podrán introducir correcciones o esquemas alternativos. Las técnicas metodológicas que se proponen para estimar el riesgo sísmico urbano –indicadores relativos y redes neuronales difusas– son modelizaciones simplificadas multicriterio con las cuales se intenta tener una aproximación de la situación de un sistema dinámico complejo (no lineal), como lo es el asentamiento humano. En su diseño se han intentado cubrir todos los requisitos o atributos de calidad mencionados previamente.

El enfoque para la estimación holística del riesgo sísmico que aquí se propone y se aplica en el capítulo siguiente puede suscitar alguna controversia desde una perspectiva reduccionista. Sin embargo, ante la complejidad del sistema socio-técnico que se desea representar para modelizar el riesgo sísmico urbano, el autor prefiere una respuesta “aproximada” a la correcta formulación del problema desde una perspectiva holística –que necesariamente se tiene que hacer con cierta vaguedad– que una respuesta exacta a la formulación “incorrecta” del problema, que de manera reduccionista y fragmentada podría realizarse con cierta precisión.