



# Catastrophe Theory and Territorial Dynamics in Valparaíso

Juan Luís Araya Silva

Universidad de Santiago de Chile. Juan.araya@usach.cl

**Abstract.** After being a prosperous commune in the XIX century, Valparaíso became a city of limited development, not only from the structural and functional point of view, but also in the economic aspect, due to the lack of planning and development plans, among other variables. Due to that, urban growth became untenable, after the flight of goods and services (adding to the demographic growth), which caused the gradual disappearance of the synergic networks which maintained the social and economic superstructure of the city. To analyze this phenomenon, it is compulsory to have quantitative elements of judgement to increase the epistemological acquis for the policy-making, something clearly missing in the development plans. This work poses a proposal for a quantitative phenomenological model based on the catastrophe theory, backed by a bibliographic and in premises analysis of the city, considering its historical and social aspects, being structured as an 'apex'; an analysis determined to be based on: the flight of goods, urban growth, disappearance of social networks and of development plans. A social collapse occurs when these variables lose their functional organics relating each other, and, therefore, the advance of one must be in concordance with the quantitative advance of the other. The result is a model to analyze empirically the way of collapse of Valparaíso. The model itself poses to be one more element to take into account in the decision-making of the future development plans for the city.

**Key Words:** Catastrophe Theory, catastrophe in apex, singularity, synergy, system theory, landscape, land-use management.

## 1.- Problema

Muchas ciudades latinoamericanas surgidas durante en colonialismo español, tuvieron crecimientos explosivos después de los procesos independentistas debido a la liberación de los mercados generando grandes conurbaciones principalmente en las ciudades costeras. Sin embargo este crecimiento no fue acompañado por planes que contemplaran la ordenación del territorio ni mecanismos que aseguraran un desarrollo más allá del crecimiento económico. La falta de ordenación del espacio por tanto es un problema de antigua data y a ello se suma

la presión de autoridades y ciudadanos por la estabilidad de las redes que sustentan la superestructura social.

En el caso de Valparaíso (33° 03' 47" Lat. Sur, 71° 83' 22" Long. W) comienza a tener un crecimiento explosivo a medida que el país afianza su predominio en el mar; la llegada de comerciantes extranjeros, preferentemente ingleses e italianos [1], genera la conformación de empresas ligadas al comercio, situación que continua después de la guerra del Pacífico [2]. En el siglo XX, el gran terremoto de 1906 destruye la ciudad, generando una fuga de actividades y empresas a la capital; y a pesar del



resurgimiento de la ciudad las condiciones cambian drásticamente en 1914 se abre oficialmente el Canal de Panamá y Valparaíso deja de estar en la ruta de navegación mundial. Esto generó la emigración de grandes y medianas empresas en las siguientes décadas generando consecuencias en todo el entramado social de la ciudad: aumentó la cesantía con la consecuente aglomeración humana en las partes altas de la comuna, los ingresos económicos disminuyen reflejándose en el desarrollo de la ciudad y en su desplazamiento como eje económico del país [3]. Tal situación fue poco a poco acrecentándose con los años, situación que dura hasta el día de hoy.

El tránsito del ayer a la ciudad que es hoy, implicó un cambio que aún no es asimilado por la ciudad y su estado actual tiene orígenes sociales, históricos y sociogeográficos; por ejemplo, parte de este fenómeno se explica por la entramada red de relaciones intra e ínter específicas que se conjugaron en la ciudad; en primer lugar Valparaíso generó un feed – back con su territorio estableciendo un metabolismo propio y estructurando una relación de orden vertical con su entorno más inmediato. Este metabolismo dio origen a redes que a su vez originaron propiedades emergentes, en las cuales, las sinergias pueden analizarse empíricamente mediante planes reguladores ínter comunales. Además, emergen las estructuras horizontales que permiten la canalización de flujos energéticos con lugares distantes [4]. Siguiendo con ésta lógica, puede conjeturarse que en ciudades próximas el flujo de materia y energía es mayor (partiendo con la hipótesis que el flujo energético es proporcional a la distancia entre una ciudad y otra), hecho sustentado por lo difuso del límite entre Valparaíso y su ciudad más próxima, sin embargo, el flujo de energía es bajo con las ciudades más próximas, por lo que no existe una retroalimentación que genere una expansión

urbana característica de las grandes urbes [5].

Esto ha producido que la huella ecológica de la ciudad sea mínima, ya que, la ciudad no ha crecido ni se ha desarrollado y la formación de ciudades satélites en la periferia ha obedecido a criterios demográficos e inmobiliarios, más que a razones de desarrollo. Además, la fuga de empresas y actividades económicas, el déficit de la actividad portuaria y el cambio del centro de gravedad del plano económico hacia Santiago produjo una mayor entropía. Esto generó la inestabilidad de las redes sociales y económicas debido a que los input energéticos disminuyeron eliminando con ello los eventos que de manera sistémica sustentaban la superestructura social.

La complejidad y el alto dinamismo en la ciudad da cuenta de la importancia de llevar a cabo acciones que permitan ordenar y gestionar el territorio desplegando herramientas claras y concisas enfocadas en la sustentabilidad [6]. El establecimiento de un modelo con enfoques y metodologías propias posee un doble impacto: (a) Permite mejorar el análisis y la intervención de las dinámicas que se desarrollan en la ciudad y (b) Permite aumentar el acervo epistemológico para el desarrollo científico en la materia. En síntesis, los planes de desarrollo actuales no están en sintonía con la lógica histórica y sociodemográfica de la ciudad, remitiéndose únicamente al plan regulador como ente rector del desarrollo urbano omitiendo muchas veces las variables que estructuraron la ciudad, es decir, Valparaíso se ha estructurado en función de una ausencia de políticas públicas integrales de ordenamiento territorial.

La mayoría de los modelos asociados a este fenómeno están en función del riesgo pero no hay modelos específicos que expliquen el



colapso de la ciudad en base a los elementos que componen la superestructura social. Es decir, no hay modelos que analicen el colapso de los aspectos urbanos, socioculturales ni funcionales de Valparaíso y por ende, existe una ausencia de modelaciones empíricas que permitan evaluar cuantitativamente posibles colapsos sociales. Estos modelos de orden fenomenológicos podrían contribuir a aumentar los elementos de juicio para la toma de decisiones en temas de ordenamiento territorial, ya que, podrían dar nociones cuantificables para evitar o mitigar los efectos del caos proveniente de la ausencia o disfuncionalidad de variables sociales.

El asentamiento humanos en Valparaíso fue posible por los recursos naturales y energéticos que naturalmente ofrecía; sin embargo, su crecimiento y expansión hizo necesario aumentar exponencialmente los flujos energéticos a la ciudad. Estos flujos nacieron de la antropización del medio natural, es decir, el asentamiento humano en la ciudad no estuvo condicionado por el medio y por tanto no sujeta a las normas deterministas. Por el contrario, fue necesario complejizar cada vez más el medio para que fuera sostenible; pero con la condicionante de mantener estables las superestructuras sociales que mantenían las redes funcionales de la ciudad.

## 2.- Objetivos

Las políticas públicas en Valparaíso relativas a la ordenación del territorio no han tenido los efectos deseados [7], ya que, el crecimiento y expansión de la ciudad pasa por la restitución de redes que disminuirían la entropía urbana y no por el ingreso de energía que no encuentra las redes de circulación ni estructuras para estabilizar un sistema que ha perdido las interrelaciones de sus subsistemas.

Es necesario por tanto, aumentar el bagaje epistemológico y científico a las políticas de ordenamiento, ya sea para prevenir, mitigar o contrarrestar los efectos de los colapsos de los subsistemas que conforman las redes urbanas en la ciudad. Para ello se expone como objetivo fundamental: Proponer un modelo fenomenológico empírico para el análisis de los colapsos de los subsistemas urbanos basado en la teoría de las catástrofes como elemento de apoyo a las políticas de ordenamiento territorial en la ciudad de Valparaíso.

El modelo propuesto parte del supuesto que el medio urbano está en constante construcción y que sus habitantes lo modifican para darle sentido, además los fenómenos sociales no son excluyentes del significado que le dan quienes viven en él; y por tanto tienen características únicas en un espacio y tiempo determinado, lo cual es posible analizar estadísticamente y cuantificar previa experimentación cuantitativa y análisis de datos.

## 3.- Estado del Arte

Los aspectos epistemológicos del trabajo se estructuran inicialmente con los aspectos conceptuales e históricos de la Teoría de las Catástrofes y posteriormente con la temática actual sobre la dinámica territorial en la ciudad de Valparaíso.

Los cambios de los ejes rectores sociales son producto de la evolución o involución de la anatomía orgánica de la sociedad donde se complejiza el espectro social dando lugar a propiedades emergentes que originan (en algunos casos) cambios exponenciales que pueden reordenar o desestabilizar un sistema social.



### *Aspectos Generales de la Teoría de las catástrofes*

La Teoría de Catástrofes ha adquirido importancia como una técnica útil para modelar fenómenos de comportamiento discontinuo [8]. Esta teoría se ha aplicado principalmente en las ciencias sociales y biológicas, en menor grado en las ciencias exactas y con menor frecuencia en la mecánica de fluidos e ingeniería, ya que, presenta la particularidad de explicar ciertos fenómenos en que las variables responden a distintos campos epistemológicos interactuando en 2, 3 hasta 6 dimensiones [9].

Conceptualmente hablando, la teoría del matemático francés René Thom explica como las singularidades de una realidad (aquellos puntos de inflexión que hacen que un sistema pase de una realidad a otra) generan cambios en la estabilidad de los sistemas dinámicos [10], los cuales, expandiéndose como una onda, cambian de una u otra manera el estado de las interacciones de una compleja red de variables en un lugar y espacio determinado. Esto significa que los cambios son locales y se generan en lugares precisos pero con la capacidad de generar una resonancia de largo alcance tanto espacial como temporal y de consecuencias aleatorias. El estudio de estas resonancias es precisamente el campo de la teoría de catástrofes.

Esta teoría no se ocupa de las catástrofes en el sentido literal del término, su tema central son las catástrofes (aquí no se considera sinónimo de calamidad) y no los catastrofismos, es decir, visualiza y explica cómo se generan las singularidades de una

realidad y como se producen las bifurcaciones que pueden generar cambios de estado o colapsos en un orden preestablecido. Tomando esto último en un contexto más holístico, podría pensarse que se ocupa de la evolución de un sistema en el sentido común y corriente de la palabra, sin embargo, su trabajo es describir las discontinuidades en la evolución de los fenómenos, más que la evolución en si [11].

La figura 1 explica de manera coherente esto último. En la primera parte del diagrama se encuentra una inflexión; en la segunda una bifurcación, se trata de dos representaciones diferentes del mismo fenómeno, lo cual, significa que la evolución no puede ni debe entenderse como una continuidad, linealidad o progreso sin más. Por el contrario, el estudio de la evolución consiste en las discontinuidades y las rupturas entre un momento lineal y el siguiente a través de las inflexiones. En otras palabras el estudio de la dinámica evolutiva de un fenómeno consiste en el estudio de las bifurcaciones que rompen con el determinismo del fenómeno o sistema de estudio.

Thom establece las nociones de la teoría de catástrofes modelizando la realidad, esto es, espacializando las variables de modo de explicar espacial y cualitativamente los puntos de bifurcación en los cuales la realidad deja de ser continua. La tabla 1 muestra la diferenciación de estas variables en variables de estado (las variables que posee el organismo en el momento de comenzar el proceso) y variables de control [12]. Las variables de estado se simplifican para crear una variable esencial y sobre ésta incidirán las variables de control.

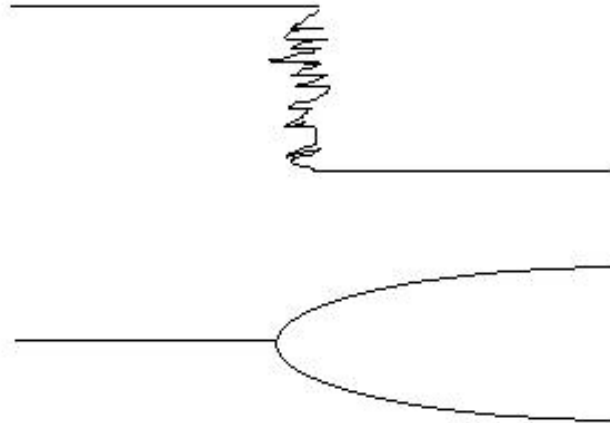


Fig. 1. Modelación de la no linealidad espacio – temporal de un fenómeno [11].

Una vez que han incidido se llegará a una situación de equilibrio nueva, situación que puede ser catastrófica o de cambio [13]. Thom explica la realidad como un plano en el cual distintos puntos de él representan distintos estados y según el comportamiento de las variables será posible encontrar distintas localizaciones con realidades

diferentes, pero para mantener la estabilidad del sistema, hay sectores del plano a los cuales el sistema no puede llegar debido a que son puntos de bifurcación, en el cual, se indetermina la realidad presente generando rupturas violentas que pueden significar una realidad diferente o el colapso del sistema aumentando con ello la entropía [14]

Tabla 1. Modelos de catástrofes descritos por René Thom [13]

Numero de variables de control	Un eje de conducta (una variable de estado)	Dos ejes de conducta (dos variables de estado)
1	Pliegue	–
2	Cúspide	–
3	Cola de milano	Umbílica elíptica
		Umbílica hiperbólica
4	Mariposa	Umbílica parabólica

La figura 2 muestra modelos en cuatro y cinco dimensiones, los cuales han sido utilizados en forma multidisciplinaria para -entre otras cosas- modelar la evolución y la revolución de una organización [16]. La geografía han visto en las teorías de Thom una forma de explicar coherentemente ciertos fenómenos, como por ejemplo, en que la meteorología y la topografía se

relacionan con los asentamientos humanos [15]. Las ciencias sociales han encontrado una forma de explicar los hechos históricos que de manera cíclica se reiteran cada cierto tiempo en determinadas sociedades (aunque, la red de fenómenos sociales forme nuevas conexiones producto de la evolución natural de una sociedad).



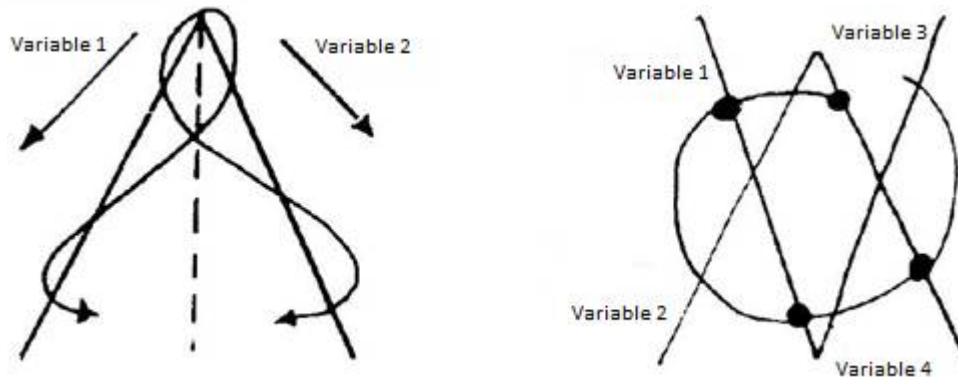


Fig. 2. Modelos en cuatro y cinco dimensiones [15]

La explicación básica radica en que los quiebres no se generan por la similitud de hechos desencadenantes separados temporalmente, sino, que estos quiebres se producen porque las sociedades avanzan muchas veces por sectores del plano (geoméricamente hablando) en forma directa a la singularidad.

De todos los modelos elementales, el más estudiado de el "modelo de catástrofe en cúspide", el cual se puede representar como una figura en tres dimensiones (figura 3). Su comportamiento está asociado a dos variables de control (factores de control 1 y 2) representadas por dos ejes (no necesariamente cartesianos), los cuales condicionan el comportamiento del sistema. Las flechas indican el orden de ascendencia de las variables, es decir, los valores de los factores de control aumentan según la dirección de éstas últimas.

Los distintos puntos en el plano indican los diferentes estados que puede tener el sistema; en el tramo AC aumenta el valor del factor de control 2 y se mantiene constante el valor del factor de control 1, en cambio, en el trayecto AB aumenta el valor del factor de control 1 y se mantiene constante el factor de control 2. Se observa que el comportamiento del sistema es diferente a pesar de tener el mismo punto de partida [15].

En éste modelo se estructura de manera geométrica la resultante (los distintos sectores del plano) de la interacción de dos variables en un determinado sistema. Este último tendrá distintos estados posibles en los cuales el paso de uno a otro no significará un colapso, sino, distintas etapas de evolución natural (en un ecosistema, la disminución de la variable hídrica no necesariamente implica sequía). Estas etapas se visualizan en una modelación a modo de plano, en el cual, los trayectos AB, ACE son cambios continuos que no alteran la homeostasis del sistema. Las líneas de cambios suaves indican cambios de estado en los cuales no hay colapso ni catástrofe, sin embargo, la catástrofe se produce cuando después de un cambio suave (AB) se produce un aumento en el factor de control 2 y la evolución del sistema llega a un punto en el cual resulta insostenible debido a la incongruencia funcional de ambas variables llegando a un punto de torsión en el cual se genera una discontinuidad representada en el modelo por un pliegue que indica un salto en la linealidad del plano [15]. Cuando la linealidad del sistema (después de un cambio suave) transita por el segmento BD llega a un límite generado por una indeterminación de la realidad debido a que las interrelaciones entre las variables han generado un escenario que acaba violentamente con la homeostasis interna

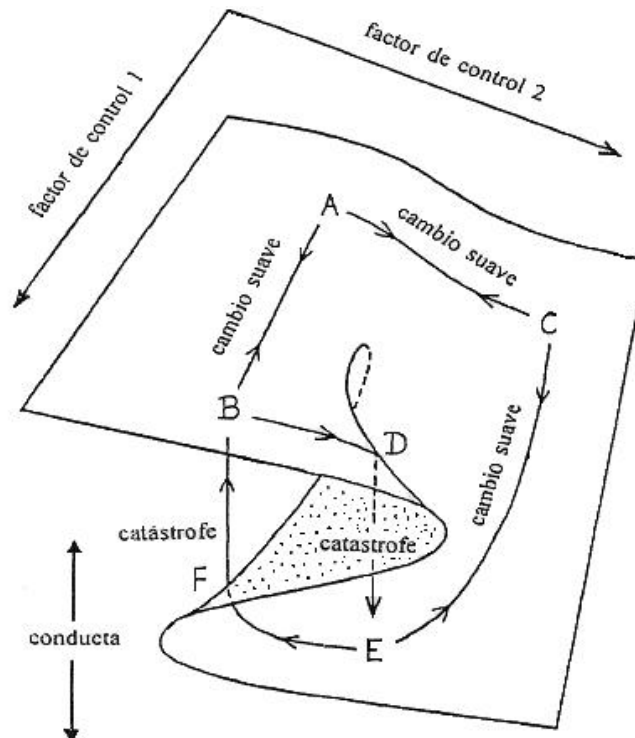
haciendo que el sistema entre en un estado altamente entrópico produciendo un cambio (a veces muy violento) a otra realidad u otro estado. En la figura puede observarse que es factible llegar a un estado “E” de dos formas: por medio de un “cambio suave” o en forma “catastrófica” (por el segmento DE) que tendrá un alto impacto para el objeto de estudio[15].

### *Dinámica territorial en Valparaíso*

El “Puerto” tiene una data inmemorial por haber sido prospectado ya en la expedición de Juan de Saavedra, quien en busca de un fondeadero (en lo que era el sector sur de imperio incaico), llega a la bahía de Quintil en septiembre de 1536. Valparaíso reunió entonces las condiciones necesarias para

transformarse en un asentamiento humano: una bahía que permitía recalar próximo a la costa y abastecimiento rápido de agua y recursos energéticos [17]. Por una disposición longitudinal y una condición geomorfológica consistente en una ladera occidental de la Cordillera de la Costa desplazada hacia el norte, es posible definir las condiciones ambientales y urbanísticas de la ciudad [18].

Valparaíso (a excepción de Brasilia) careció desde sus inicios de un plan de ordenamiento, aunque, los 44 cerros que conforman la ciudad (más las planicies) dieron una división administrativa lógica, conformando una estructuración que ha zonificado la ciudad dando la funcionalidad urbana hasta el día de hoy.



**Fig. 3. Modelo de catástrofe en cúspide [15]**

Esta situación da un giro (aunque no significativo en un contexto global) con la aparición del primer plan regulador comunal

en 1984, el cual, sumando variables importantes en modificaciones posteriores (como la incorporación de sitios de



importancia histórica y la declaración de la ciudad como patrimonio de la humanidad) no han logrado un cambio en la matriz de la ciudad.

La unidad de paisaje, por lo tanto, han sido los “cerros”, ya que, éstos han sido la estructura funcional de la ciudad desde el punto político administrativo constituyéndose en una de las bases sobre las cuales se han estructurado los planes reguladores. Cabe recordar que al hablar de paisaje, se habla de un concepto organizativo y administrativo, el cual tiene una historia compleja en el marco de la geografía humana [19].

Si bien esta unidad funcional sirvió durante siglos como división administrativa, lo fue también como unidad de paisaje, debido a que los cerros fueron tomando personalidad propia por la multifuncionalidad de actividades que necesitaron nichos específicos para su estructuración. Esto determinó la formación de parches y corredores característicos de la ciudad estructurados en una matriz tipificada por una fuerte componente social e histórica que ha caracterizado la comuna hasta el día de hoy. Pero las circunstancias actuales hacen imprescindible un reordenamiento biogeocomunal, en el cual, la estructura del plan regulador implique un cambio absoluto de paradigma. Pero, la búsqueda de una solución objetiva, científicamente fundada bajo la cual construir las políticas ambientales rara vez ocurre en la realidad [20]. Esto último justifica cambiar radicalmente la matriz e incorporar dos elementos básicos: la componente ambiental y el aumento de los flujos energéticos canalizados mediante los lineamientos de la ecología urbana.

#### 4.- Método

Para el logro del objetivo propuesto, se recurre a un examen de la bibliografía disponible, la cual, da el marco de entrada para la correlación de premisas referentes al ordenamiento, historia y desarrollo de Valparaíso. Para ello las variables utilizadas son: (a) desaparición de redes sociales, (b) aumento demográfico, (c) fuga de bienes y servicios y (d) crecimiento urbano. Se recurre además a un examen en terreno mediante una lista de cotejo y una pauta de análisis diseñada para este trabajo.

#### 5.- Resultados

##### *Desaparición de redes v/s Aumento demográfico*

La estructuración de redes sociales da lugar a un conjunto de relaciones que complejizan la ciudad traduciéndose en un aumento de las actividades laborales, sociales, culturales, políticas, etc. Estos elementos se relacionan dinamizando actividades que el ciudadano común visualiza como mayores fuentes laborales, crecimiento en infraestructura, desarrollo vial, etc.

Uno de los elementos que esto trae implícito es la explosión demográfica; al crecer y desarrollarse los núcleos urbanos, aumenta la inmigración, lo que a su vez aumenta la tasa de natalidad (este fenómeno se observó mucho en las ciudades inglesas durante la revolución industrial). Si la tasa de natalidad aumenta de manera considerable, la ciudad no podrá sustentar una población mayor, pero si la ciudad reestructura sus redes en



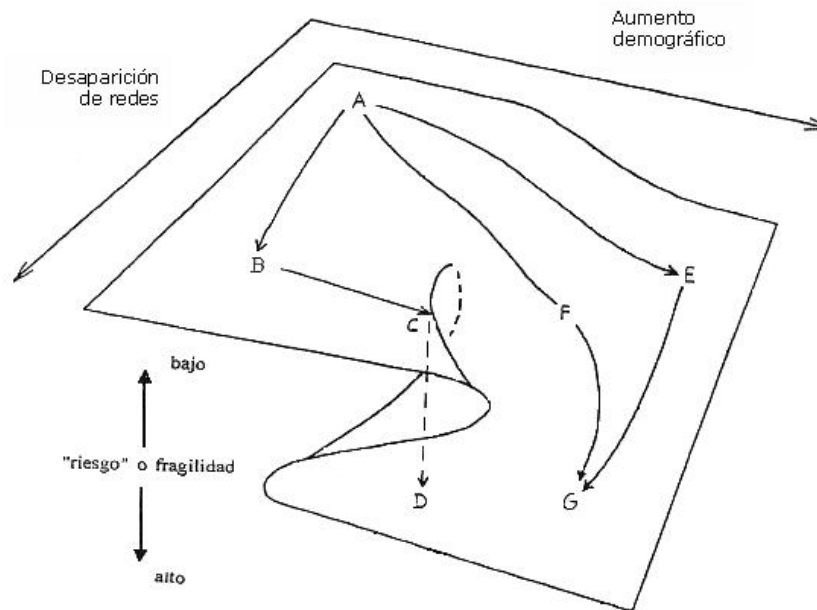


Fig. 4. Relación entre aumento demográfico y desaparición de redes.

función del aumento demográfico, ésta podrá sustentar una población cada vez mayor. Pero, ¿Qué ocurre cuando no es así?. En la figura 4 se consignan estos dos elementos como las variables de control. Ambos elementos parten de una realidad (A), en la cual, la desaparición de las redes y el aumento demográfico comienzan a aumentar (fenómenos ocurridos en el transcurso del siglo XX). Como se observa pueden haber distintos estados (B, F y E) en los cuales éstas variables están en distintas etapas pero no han gravitado hacia un colapso; incluso pueden aumentar llegando hasta un punto de G; en este punto el estado de las variables es máximo pero aun así el sistema se mantiene en orden.

El tramo AB indica una desaparición de las redes sociales pero no hay un aumento de la demografía, ya que, el eje de control se mantiene constante. Sin embargo, al aumentar levemente la variable de control aumento demográfico, inmediatamente se llega a un punto de colapso indicado por el tramo BC, el cual desencadena en un nuevo

segmento (CD) que indica que ha ocurrido una catástrofe.

Esto se interpreta de la siguiente manera: para que se mantenga la homeostasis de la ciudad, ésta última debe ser capaz de retroalimentarse con el fin de convertirse en un buffer de los procesos naturales y sociales; si no es así la ciudad colapsa trayendo elementos como desempleo, fuga de recursos, pobreza, delincuencia, etc. En otras palabras no debe perder la capacidad disipativa para mantener la estructuración social. En el ejemplo citado, Valparaíso fue perdiendo cada vez más sus redes sociales disminuyendo los *input* energéticos, cuando esto ocurrió, aumentó la explosión demográfica ante lo cual la ciudad perdió la capacidad de reacción debido al hecho que se habían perdido las conexiones que hicieran frente a un creciente aumento en el número de la población. Este hecho generó cinturones de aglomeración urbana y pobreza en las partes altas de la ciudad, ello hizo que proliferaran los conventillos y las tomas periféricas. La población indigente y



pobre pasó a la categoría de marginal y no estuvieron incluidos en los procesos sociales

quedando excluidos de la dinámica de la ciudad.

Analizando cuantitativamente el plano de la catástrofe, el punto de colapso se infiere a partir de las siguientes coordenadas:

$$(x, y, z) = (x_0, y_0, z_0) + t(u_1, u_2, u_3) + s(v_1, v_2, v_3)$$

A partir de aquí se puede escribir:

$$\begin{aligned} x &= x_0 + t \cdot u_1 + s \cdot v_1 \\ y &= y_0 + t \cdot u_2 + s \cdot v_2 \\ z &= z_0 + t \cdot u_3 + s \cdot v_3 \end{aligned}$$

Los vectores  $\overline{PP_0}$ ,  $\bar{u}$  y  $\bar{v}$  son dependientes:

$$\begin{vmatrix} x - x_0 & y - y_0 & z - z_0 \\ u_1 & u_2 & u_3 \\ v_1 & v_2 & v_3 \end{vmatrix} = 0$$

Si  $n=(A, B, C)$  es un vector normal al plano y  $P_0(x_0, y_0, z_0)$  un punto del mismo, la ecuación del punto de colapso estaría dada por:

$$A \cdot (x - x_0) + B \cdot (y - y_0) + C \cdot (z - z_0) = 0$$

### *Fuga de bienes y servicios v/s Crecimiento urbano*

Termodinámicamente hablando, la ciudad se mantiene socialmente estable cuando los flujos de energía encuentran las vías para fluir eficientemente en las redes sociales manteniendo óptimas las cualidades del territorio. En Valparaíso se produjo (mayoritariamente en la segunda década del siglo XX) una fuga de empresas y actividades de los más diversos rubros hacia otras partes del país (en su mayoría a Santiago). A esto se sumó el hecho que con el devenir de las aperturas económicas, los productos foráneos desplazaron a los nacionales, ante lo cual, muchas tiendas (algunas de las cuales habían funcionado por décadas) cerraron indefinidamente. Aunque la tecnificación del rubro portuario desplazó mano de obra, esta actividad

quedó como la única función de relevancia en la ciudad. Los resultados de estos hechos pueden ser explicados con las leyes de la ecología: los ecosistemas se degradan si los flujos de energía disminuyen, ya que, el aumento de la entropía genera una desarticulación de los entramados ecosistémicos desestabilizando el sistema completo.

En vista de esto, Valparaíso fue desarticulado por la fuga de bienes y servicios que canalizaban la energía social que ingresaba a la ciudad. Pero a medida que pasaba el tiempo, y aumentaba la población, otro hecho –como parte de un proceso natural– continuaba en avanzada: el crecimiento urbano.

Dado lo escaso del área en las planicies costeras y lo elevado de su costo, la

población comenzó a habitar los cerros y a establecer círculos urbanos en laderas y zonas altas. Importante fue la prolongación de las principales arterias viales y la formación de caminos que unieran las zonas altas de la ciudad (como el camino Cintura). La emigración de empresas y de organizaciones de marcada importancia social, se tradujo en una disminución del nivel de vida de un segmento humano importante, con lo cual, la habitabilidad de los sectores altos creció en forma exponencial. Esto generó un crecimiento desproporcionado en los cerros de Valparaíso, lo cual, se realizó sin las medidas de ordenamiento territorial adecuadas, sólo obedeciendo a la presión por la adquisición de viviendas. Este hecho está visualizado geométricamente en la figura 5, en la cual, los factores de control 1 y 2, obedecen a éstas últimas variables

si a eso le añadimos un crecimiento urbano explosivo, el colapso puede ser aún mayor. Sin embargo si la conjunción de ambas variables es compatible, puede llegarse a un punto de equilibrio (G) en el cual no hay colapso (entiéndase colapso en este contexto como la desestabilización de un sistema) Los trayectos AEG, AFG y AB indican cambios suaves del sistema. Si la variable crecimiento urbano se mantiene constante y aumenta el factor contrario se produce un movimiento suave, pero si después aumenta violentamente la variable crecimiento urbano, el sistema colapsa; esto debido a que la fuga de bienes generó un escenario adverso, si a esto se le suma un crecimiento urbano explosivo, llegamos a un punto C, el cual indica catástrofe. Esto indica que la ciudad no contaba con los planes de ordenamiento adecuados, siendo superada por la presión social.

Al aumentar la fuga de bienes y servicios, hay una desestabilización social del sistema,

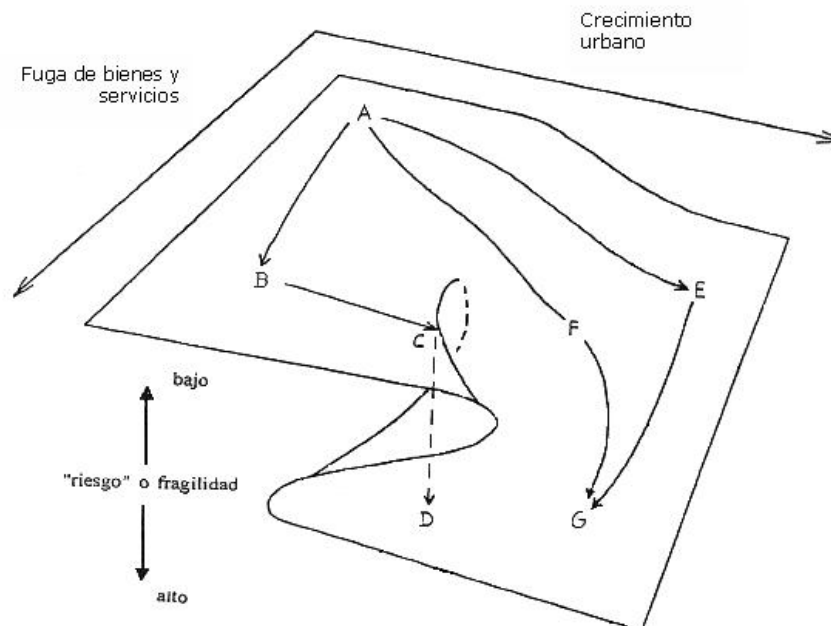


Fig. 5. Relación entre “crecimiento urbano” y “fuga de bienes y servicios”.

El crecimiento urbano en los cerros de Valparaíso ha generado poblaciones marginales claramente estigmatizadas por

sus altos focos de delincuencia (debido principalmente a la falta de recursos y falta



de oportunidades laborales para sus habitantes). Otro hecho son los constantes deslizamientos y derrumbes en las laderas de la ciudad (hecho que se acentúa en las temporadas invernales).

La falta de recursos para construcciones óptimas y la necesidad imperativa de muchas familias por contar con casa propia ha llevado a un desarrollo carente de toda planificación. Motivo por el cual, los derrumbes y los incendios forestales son un problema aun insoslayable en la geografía de Valparaíso.

Para definir la ecuación del punto colapso se consideran:  $P_0$ ,  $P_1$  y  $P_2$  tres puntos no consecutivos pertenecientes a un plano, se puede considerar un punto genérico  $P$  de dicho plano y determinar entonces tres vectores dados por las siguientes coordenadas:

$$P_0 P_1 = (x_1 - x_0, y_1 - y_0, z_1 - z_0)$$

La condición necesaria y suficiente para que tres vectores sean coplanarios, es que su producto mixto sea nulo, por tanto:

$$\begin{vmatrix} x - x_0 & y - y_0 & z - z_0 \\ x_1 - x_0 & y_1 - y_0 & z_1 - z_0 \\ x_2 - x_0 & y_2 - y_0 & z_2 - z_0 \end{vmatrix} = 0$$

Calculando la ecuación segmentaria del plano (ecuación del plano que corta a los ejes de coordenadas en los puntos):

$$x = a; y = b; z = c$$

Según lo anterior se tiene:

$$P_0 = (a, 0, 0); P_1 = (0, b, 0); \\ P_2 = (0, 0, c); P = (x, y, z)$$

La ecuación segmentaria del plano quedará en la forma:

$$\begin{vmatrix} x - a & y & z \\ -a & b & 0 \\ -a & 0 & c \end{vmatrix} = 0$$

y desarrollando el determinante:

$$b \cdot c \cdot x + a \cdot c \cdot y + a \cdot b \cdot z = a \cdot b \cdot c$$

Definiendo la ecuación del punto C:

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} + \frac{z}{c} = 1$$

## 6.- Conclusiones Generales

Valparaíso es todo lo opuesto a una urbe planificada, a diferencia de otros conglomerados urbanos nacidos en la América hispánica, los subsistemas de la ciudad se enlazaron fuertemente con su realidad histórico-social-cultural, esto, sumado a la complejidad de sus estructuras, y su entramada red de relaciones, generaron una retroalimentación con su territorio estableciendo en Valparaíso un metabolismo propio que dio lugar a propiedades emergentes que son difícilmente explicables en la actualidad. Esto significa que los cambios socio-urbanos ocurridos en la ciudad, presentan una dinámica dada por las interacciones de distintos fenómenos que van más allá de las interrelaciones meramente explicables solo por las ciencias sociales.

En función a lo anterior, la teoría de catástrofe tiene la capacidad de unificar distintos elementos provenientes de campos científicos distintos otorgando una explicación sistémica y de amplia aplicabilidad para las ciencias biológicas y sociales.

Los planes de ordenamiento y análisis socio-territorial rara vez se analizan, planifican y/o estructuran en base a modelos matemáticos que conviertan hechos subjetivos en



elementos medibles y cuantificables. Los modelos se han utilizado básicamente para gestión del riesgo pero no en el análisis de fenómenos sociales en Valparaíso. Los modelos aquí presentados indican que es factible explicar y analizar fenomenológica y empíricamente los subsistemas sociales que eventualmente podrían entrar en etapa de colapso e integrar estos modelos al consolidado de planes de ordenamiento y planificación territorial como elementos de orden cuantitativo que contribuyan en la toma de decisiones, de tal forma que puedan graficar y explicar cuantitativamente las formas de colapso social, ya sea para prevenir o mitigar sus consecuencias.

En síntesis, la relación histórico-social de Valparaíso originó propiedades únicas que permitieron la subsistencia de la orgánica urbana aun cuando la expansión redujo en forma considerable los recursos energéticos. Esta característica eliminó todo determinismo social en la ciudad generando que la complejidad de sus redes mantuvieran la superestructura social, permitiendo los asentamientos humanos aún en condiciones adversas de tipo geográficas, climáticas y/o sociales.

La teoría de Thom sigue siendo una teoría explicativa y de gran envergadura, sobre todo por su carácter indeterminista y su anarquismo epistemológico. Aun así, su capacidad para explicar coherentemente fenómenos enlazados de distinta índole constituye una poderosa herramienta para eliminar los reduccionismos propios de estudios que carecen de interdisciplinariedad.

## Referencias

[1] Oscar Castillo. "Vida, costumbres y sociabilidad en los cerros "el Litre" y "Bellavista" de Valparaíso: una aproximación a la historia oral". Revista geográfica de

Valparaíso. 43: 58–80, 2010. ISSN: 0718 – 9877.

[2] María Portal y Catalina Bonnet. "Cartografías de la calidad visual de entorno construido en el barrio el Almendral, ciudad patrimonial Valparaíso". Revista geográfica de Valparaíso. 44: 18–33, 2011. ISSN: 0718 – 9877.

[3] Camila Hernández. "Imagen urbana de Valparaíso: Entre patrimonio, puerto y turismo, ¿Qué queda? Revista geográfica de Valparaíso. 51: 95–111, 2015. ISSN: 0718 – 9877.

[4] María González. "La ciudad sostenible: Planificación y teoría de sistemas". Boletín de la A.G.E. 33: 93 – 102. 2002. ISSN 0212-9426.

[5] María Di Pace y Horacio Bartrons. "Ecología de la ciudad", 2004, Buenos Aires, Argentina. Editorial Prometeo, 1<sup>a</sup> edición, 382 págs. ISBN 987-9300-66-1.

[6] Rodrigo Figueroa, Jorge Negrete y Pablo Mansilla, Pablo. "La gestión de los espacios frágiles costeros de la región de Valparaíso: diagnóstico de su gestión y propuestas conceptuales". Revista geográfica de Valparaíso. 41: 42–61, 2008. ISSN: 0718 – 9877.

[7] Alexander Panez. "Desarrollo metropolitano del gran Valparaíso en debate: Divergencias entre discursos y prácticas espaciales de sus actores políticos. Revista geográfica de Valparaíso. 51: 112–132, 2015. ISSN: 0718 – 9877.

[8] Shuliang Lv, Ruixian Yang & Chuanhao Huang. "Contusion and recovery of individual cognition base on catastrophe theory: A computational model. Neurocomputing. 220: 210–220, 2017. ISSN 0925-2312





- [9] Polioptro Martínez-Austria. "Modelos de catástrofe del flujo alrededor de objetos sumergidos". *Tecnología y Ciencias del Agua*. 1(1): 7 - 19, 2010. ISSN: 0187-8336
- [10] Yangpeng Wang, Ulrich Alois Weidmann & Huashen Wang. "Using catastrophe theory to describe railway system safety and discuss system risk concept". *Safety Science*. 91: 269–285, 2017. ISSN 0925-7535
- [11] Carlos Maldonado. "Teoría de catástrofes y teoría financiera". *Odeón*. 3: 55 – 74, 2006. ISSN 1794 – 1113.
- [12] Sina Sadeghfam, Yousef Hassanzadeh, Ata Allah Nadiri & Mahdi Zarghami. "Localization of Groundwater Vulnerability Assessment Using Catastrophe Theory Water". *Resour Management*. 30: 4585–4601, 2016. ISSN 1573 - 1650
- [13] Luis Santos. "Teoría de las catástrofes". *Política y Sociedad*. 5: 107 – 117, 1990. ISSN 1130 – 8001.
- [14] Wu Bangbin, Wu Zhongru, Chen Bo, Su Huaizhi, Bao Tengfei, & Wang Shaowei. "Crack status analysis for concrete dams based on measured entropy". *Science China Technological Sciences*. 59(5): 777–782, 2016. ISSN 1869 - 1919
- [15] Javier Martin Vide. "La teoría de catástrofes y la geografía: aplicaciones en meteorología". *Revista de geografía*. 28: 21 – 32, 1994. ISSN 0048-7708.
- [16] Donald Baack, Daniel Jordan & Daniel Baack. "Evolution and Revolution in Higher Education: Catastrophe Theory's Applications and Implications". *The Midwest Quarterly*. 57(2): 105 - 123, 2016. ISSN 0026 - 3451.
- [17] Gonzalo Vial. "Historia de Chile", 1982, Santiago de Chile. Editorial Santillana, 1ª edición, Vol I, Tomo II, 577 págs. ISBN 9789561211681.
- [18] Luis Álvarez. "Origen de los espacios públicos en Valparaíso: El discurso higienista y las condiciones ambientales en el siglo XIX". *Revista de urbanismo*. 4: 1-22, 2001. ISSN 0717-5051.
- [19] Denis Cosgrove. "Observando la naturaleza: El paisaje y el sentido europeo de la vista". *Boletín de la A.G.E.* 34: 63 – 89, 2002. ISSN 0212-9426.
- [20] María Quintero. "Características fundamentales de las políticas ambientales: el riesgo y la incertidumbre". *Aportes*. 29: 107 – 120, 2005. ISSN 1665 – 1219.



UNIVERSIDAD  
DE SANTIAGO  
DE CHILE

Journal of Technological  
**Possibilism**

---

### Paper Info

Fecha de recepción: marzo 2016.

Fecha de aceptación: mayo 2016.

Revisores: 3.

Cantidad de revisiones consolidadas: 2.

Total de observaciones: 7.

Índice de Novedad: 0,54.

Índice de Utilidad: 0,89.