



Universidad del Azuay

Departamento de Posgrado

Maestría en Dirección de Recursos Humanos y Desarrollo Organizacional

Escalabilidad fractal y sus implicaciones para el Desarrollo Organizacional sostenible
en las empresas de manufactura del Ecuador

Trabajo de graduación previo a la obtención del Título de Magister en Dirección de
Recursos Humanos y Desarrollo Organizacional

Autores:

Psi. Lab. Leonardo Esteban Carpio Cordero

Psi. Lab. Gina Daniela Landázuri González

Directora:

Mgst. Mónica Isabel Todas Tobar

Cuenca – Ecuador

2017

Dedicatoria

A mis dos grandes amores, José Alberto Palacios mi compañero de vida a quien amo profundamente y quien con su amor incondicional a hecho de mí una mejor persona, y me ha impulsado a alcanzar mis metas académicas y profesionales, José Francisco mi ángel, mi luz, mi motor. A mis padres quienes me han enseñado el sentido de superación en la vida enmarcados en valores de humildad, sencillez, gratitud y respeto, me motivaron a continuar con mis estudios y a seguir superándome, a mis hermanos y suegros por su apoyo incondicional. Y a mi compañero de tesis y mejor amigo quien tuvo una gran idea y me involucro en su aventura, Leo sin tu dedicación y esfuerzo nada de esto hubiera sido posible.

GDLG.

No hay personas más sacrificadas en su accionar y cuyos pensamientos hayan estado tan enrumados siempre hacia mi desarrollo profesional que mis padres. A ellos les debo mi carrera profesional, mis ideales y sueños; y aunque no siempre puedo devolverles el favor, o siquiera darles el orgullo mientras aún me acompañan, quiero dedicar este trabajo a ellos, a su interminable paciencia y por sobre todo amor infinito, sin el cual no podría ser el profesional que hoy soy.

LCC

Agradecimiento

Nuestro agradecimiento a todas aquellas personas que estuvieron involucradas en este proceso de tesis que finaliza una etapa más de nuestra formación académica. De manera especial a nuestra Directora Mónica Rodas quien confió en nosotros, apostó por la realización de este tema de tesis y estuvo a nuestro lado en todo el proceso realizando invaluable aportes. Al Dr. Carlos Guevara y al Dr. Wayne Hanson quienes fueron guías metodológicos importantes en la culminación de este proyecto.

Y por último a la Universidad del Azuay, por brindarnos la oportunidad de crecer académica, personal y profesionalmente.

Resumen

El presente trabajo de investigación busca la existencia de patrones de escalabilidad en diferentes factores organizacionales. Para esto se ocupará la base de datos extraída de la encuesta de empresas de manufactura y minería 2013, generada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador (INEC, 2013). Esto siguiendo principalmente la línea de estudio desarrollada por West y otros investigadores del instituto Santa Fe, en el que se buscan relaciones entre diferentes variables de la dinámica social en las ciudades para explicar la forma en que estas crecen y cómo estas contribuyen a la generación de criterios globales de sostenibilidad en las mismas.

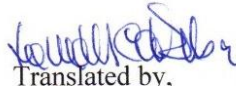
Con este marco teórico, el presente estudio propone un análisis similar a escala organizacional, que contribuya al desarrollo de un marco teórico útil para la mantención de las empresas en el tiempo y desde las que se pueda enfocar los procesos de desarrollo organizacional a futuro.

ABSTRACT

This research searches for the existence of fractal scaling factors for different organizational indicators. For this purpose, database obtained from the manufacturing and mining companies from the 2013 survey, generated by the National Institute of Statistics and Censuses of Ecuador (INEC, 2013) will be used. This follows mainly the line of study developed by West along with other researchers of the Santa Fe Institute, which seeks out for relationships between different variables of social dynamics in cities, so as to explain how they grow and how they contribute to the generation of general criteria for sustainability in them. Based on this theoretical framework, the study proposes a similar analysis at organizational level, contributing to the development of a theoretical framework useful for the maintenance of companies over time, and from which future organizational development processes could be approached.



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Resumen	iv
Índice de contenidos.....	vi
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1	3
El estudio de las organizaciones.....	3
1.1 Teorías Clásicas de la Administración Organizacional:.....	3
1.1.1 Teoría Científica:.....	3
Town, Gantt, Lilian, Gilbreth, Taylor, 1900: c	3
1.1.2 Teoría funcional	4
1.1.3 Teoría burocrática:	5
Weber, 1924:	5
1.1.4 Teoría de las relaciones humanas:	5
Mayo, 1920; Follet, Maslow, 1954; Herzberg, 1966; McGregor, 1957: e	5
1.1.5 Teoría de los sistemas cooperativos:	5
Barnard 1938:.....	5
1.1.6 Teoría del comportamiento:	6
1.1.7 Teoría política:	6
Selznick, Pfeffer, Croazier: l	6
1.1.9 Teoría de la Contingencia:	7
1.2 Teorías modernas de la Administración Organizacional:	8
1.2.1 La empresa viva	9
1.3 El estudio de fenómenos complejos	11
1.3.1 Las ciencias de la complejidad:.....	12
1.3.2 Teoría del Caos.....	13
1.3.3 Cibernética	14
1.3.4 Teoría de sistemas	15

1.3.5 Teoría de grafos.....	15
1.3.6 Teoría de Juegos.....	16
1.4 Geometría fractal.....	17
1.4.1 La visión tradicional de la escalabilidad en las empresas:	19
1.4.2 Fractales y los nuevos paradigmas de la escalabilidad.....	20
1.4.3 La escalabilidad expresada gráficamente	21
1.4.4 Escalabilidad en los seres vivos.	23
1.4.5 Contextualizando los hallazgos de West: Escalabilidad lineal, sub lineal y súper lineal	25
1.4.6 Escalabilidad en la dinámica social de las ciudades:.....	26
1.5 Aplicación de la escalabilidad fractal en las empresas.....	29
1.5.1 Posibles implicaciones en el Desarrollo Organizacional.....	31
CAPÍTULO 2	33
Base de datos y manejo de la información.	33
2.1 Sobre la base de datos	33
2.1.2 Fiabilidad de la encuesta	34
2.2 Depuración de la base de datos	34
2.2.1 Depuración de las variables.....	35
2.2.2 Depuración de valores	35
2.3. Manejo estadístico de la información.....	36
2.4. Sobre la aplicación informática.....	37
2.4.1 Validez de la aplicación informática	38
CAPÍTULO 3	39
Análisis de Resultados	39
3.1 Procesamiento de la información:	39
a. Personal remunerado y horas trabajadas	39
b. Remuneración, aporte patronal y fondos de reserva	40
c. Total Remuneraciones Vs Valor Agregado.....	42
3.2 Discusión:.....	43

3.2.1 Transversalidad entre ciudades:	43
3.2.2 Situación país:	46
3.2.3 Transversalidad entre niveles:	47
3.3 Investigaciones futuras:.....	49
Bibliografía	51

INTRODUCCIÓN

Las empresas al ser consideradas como sistemas complejos¹, se ven inmersas en constantes cambios, y adaptaciones, los cuales constituyen procesos fundamentales para que puedan sobrevivir. Para esto, es necesario conocerlas a profundidad y así poder planear dichos cambios lo que ayudará a que los resultados de las mismas estén enmarcados dentro de modelos esperados de comportamiento que den como consecuencia mayor efectividad y rentabilidad.

Para realizar estos cambios, es necesario hablar de Desarrollo Organizacional el mismo que según la definición de Beckard es “un esfuerzo planeado que abarca toda la organización, administrado desde arriba, para aumentar la eficacia y la salud de la misma, a través de intervenciones planeadas en los procesos organizacionales, usando conocimientos de la ciencia del comportamiento” (de Faria, 2004, pág. 27).

Para realizar Desarrollo Organizacional en las empresas es necesario que el punto de inicio sea el conocimiento total del funcionamiento de las mismas, no se puede proponer planes de mejora, de desarrollo, etc., si no conocemos que es lo que necesitamos mejorar o desarrollar, para tener este conocimiento es necesario realizar diagnósticos mediante la utilización de herramientas bastante conocidas como la aplicación del FODA, los árboles de problemas, realizar estudios de clima organizacional, etc., todas éstas, siendo herramientas bastante útiles, lo que hacen es proporcionar información cualitativa de la empresa que por lo general, parte de la percepción de la persona a la que se le aplicó la herramienta de investigación, y además provee información aislada, pues, lo que hace es separar a las empresas en factores o variables y se la describe desde ese punto de vista como por ejemplo, en lo que respecta a estudios de clima organizacional se evalúan estilos de liderazgo, procesos de evaluación y capacitación, efectividad de los medios comunicación, etc., y en lo que respecta a FODA se evalúa regulaciones gubernamentales, cuellos de botella, entendimiento de la competencia, etc.

¹ Entendiendo como complejo a un fenómeno que genera comportamientos emergentes, tiene transiciones repentinas, predictibilidad limitada, responde a una dinámica evolutiva, entre otros aspectos (University of Groningen, 2014)

Lo que lleva a la siguiente pregunta; las herramientas con las que contamos son lo suficientemente técnicas y fiables para darnos una radiografía completa de lo que la empresa realmente es, y de lo que realmente necesita?

Desde el punto de vista de los autores la respuesta es sencilla: no. Las empresas no solo deben ser analizadas con herramientas de investigación cualitativa que parten de las percepciones de quienes la componen, ni como una suma de partes que al parecer no se interrelacionan o interactúan entre sí. El análisis organizacional debe realizarse considerándolo un sistema complejo que se compone de una cantidad importante de variables que demuestran cuantitativamente la existencia de patrones de relación e incidencia entre unas y otras de manera específica, lo que nos proporcionaría información técnica y precisa.

Por lo tanto, al conocer estos patrones de relación se podría proponer desde el Desarrollo Organizacional en qué variables incidir para obtener los resultados deseados, es decir, se podría conocer con claridad el comportamiento actual de una empresa y su futuro sería predecible y por lo tanto susceptible de cambios y mejoras.

Es entonces que, enmarcados en la necesidad de determinar cómo las variables cualitativas de una empresa se relacionan e interactúan unas entre otras se propone estudiar a la misma entendiendo sus fenómenos complejos generales con un método relativamente simple: La escalabilidad.

Para comprender cómo este cambio de paradigma es beneficioso para el desarrollo de un entendimiento global de la organización, primero es necesario abordar la escalabilidad desde su enfoque tradicional.

CAPITULO 1

El estudio de las organizaciones

Desde sus inicios las organizaciones han formado parte fundamental de la sociedad pues aportan de manera importante en el desarrollo económico de las ciudades y también en el progreso del ser humano y su entorno.

Es por esto, que desde que las organizaciones han sido notadas se han presentado varios estudios que denotan en una diversidad de perspectivas, disciplinas o aproximaciones teóricas, las mismas que contemplan diferentes maneras de proceder en la organización y que con el tiempo han ido evolucionando. Es importante entonces, entender cómo ha ido cambiando la forma de concebir y entender a la organización lo que ayudará a generar propuestas acertadas de intervención en la misma para así obtener los resultados esperados: rentabilidad, eficiencia.

1.1 Teorías Clásicas de la Administración Organizacional:

1.1.1 Teoría Científica:

Town, Gantt, Lilian, Gilbreth, Taylor, 1900: constituye el primer esfuerzo para estudiar el trabajo con un método, la misma se basaba en 4 principios:

1. Desarrollo de una técnica de medición de trabajo de las personas.
2. Desarrollo de un proceso de selección científica, entrenamiento y desarrollo de los trabajadores
3. Asegurar el esfuerzo cooperativo de sus trabajadores.
4. El trabajo y la responsabilidad son compartidas tanto por los dirigentes como por los trabajadores.

Con la aplicación de estos principios y los estudios de tiempos y movimientos se orientaron a buscar el mejor método de trabajo. (Rivas, 2009).

Además, es importante recalcar que Taylor pretendía crear una organización pensada en la productividad del individuo para ello se diferencia el poder y autoridad del gerente y la operatividad del obrero.

1.1.2 Teoría funcional

Fayol, 1916: llamada también corriente Fayolista, la misma que se distinguió por su enfoque de estudio integral de la empresa, señalaba que la mejor forma de organización está basada en la distribución de funciones, las mismas que se subdividen en subfunciones y procedimientos, los cuales a su vez son desarrollados por uno o más puestos, por lo tanto se obtiene mayor especialización, división de trabajo planeada, el trabajo manual se separa del intelectual, se obtiene más alta eficiencia de cada persona. (Universidad Nacional Autónoma de México, 2006).

Los 14 principios de la Administración conforme a esta corriente son:

1. División de trabajo
2. La Autoridad
3. La Disciplina
4. Unidad de mando
5. Unidad de dirección
6. Subordinación del interés particular al interés general
7. Remuneración justa del personal
8. Centralización
9. Jerarquía o cadena escalar
10. Orden
11. Equidad
12. Estabilidad del personal
13. Iniciativa
14. Unión del personal o espíritu de equipo

Esta corriente se diferencia de la Teoría Científica de Taylor al presentar una visión desde la cima al individuo, identificando la estructura organizacional como un aporte de esta corriente.

1.1.3 Teoría burocrática:

Weber, 1924: quien definió a la democracia como una forma de organización que maximiza la precisión, la velocidad, la claridad, la regularidad, la exactitud y eficiencia conseguida a través de la división anticipada de las tareas, de la supervisión jerárquica y del seguimiento a detalladas reglas y regulaciones. (Petrella, 2007)

1.1.4 Teoría de las relaciones humanas:

Mayo, 1920; Follet, Maslow, 1954; Herzberg, 1966; McGregor, 1957: esta teoría se desarrolló en un amplio lapso de tiempo entre 1929 y 1966, y surgió de la necesidad de contrarrestar la fuerte tendencia a la deshumanización del trabajo que se presentó con la aplicación de métodos rigurosos, científicos y precisos, a los cuales los trabajadores debían someterse forzosamente.

En definitiva la teoría de las relaciones humanas se origina por la necesidad de alcanzar una eficiencia completa en la producción dentro de una armonía laboral entre el obrero y el patrón, en razón a las limitaciones que presentan las teorías clásicas y científicas de la administración. Esta teoría marca una diferencia con las anteriores al ser la primera en tener presente al individuo, sus motivaciones y deseos. (Chiavenato, 1999)

1.1.5 Teoría de los sistemas cooperativos:

Barnard 1938: en su célebre *“The Functions of Executive”*, presentó una nueva teoría organizacional que concebía a las organizaciones como sistemas cooperativos, no como productos mecánicos de diseños de ingenieros de la eficiencia, en esta teoría se concibe a las organizaciones como sistemas de actividades conscientemente coordinadas, en la

que la figura del Administrador o Dirigente es el factor más estratégico. Se destacó además la importancia del proceso de toma de decisiones, así como sus limitaciones, se señaló que la organización informal facilita la comunicación y la cohesión en la organización, rechazó el punto de vista tradicional según el cual las organizaciones cuentan con un número definido y limitado de miembros, pues entendía que debe incluirse a los accionistas, los proveedores, los clientes y cualesquiera otros cuyas acciones incidan en la empresa y afecten a sus (David, 2016)

1.1.6 Teoría del comportamiento:

March y Simón, 1961; March, 1965; Simón 1979 y 1984: Esta teoría analiza a las personas y a su comportamiento en forma individual y sostiene que la motivación mejora la productividad de la empresa. El enfoque de esta teoría consiste básicamente en considerar a las relaciones en el ámbito organizacional como el factor relevante para administrar las organizaciones con eficiencia y productividad adecuada.

Para la mejor comprensión de los recursos humanos en el ámbito laboral, es importante conocer las causas que originan la conducta humana. El comportamiento es causado, motivado y orientado hacia objetivos. En tal sentido, mediante el manejo de la motivación, el administrador puede operar estos elementos a fin de que su organización funcione adecuadamente y los miembros de ésta se sientan más satisfechos y logren su realización en tanto se controlen las otras variables de la producción. (Chiavenato, 1999)

1.1.7 Teoría política:

Selznick, Pfeffer, Croazier: la escuela de las ciencias políticas, plantea a través de los trabajos de Philip Selznick la falta de coherencia de las escuelas clásicas. Para él, las organizaciones son fuentes constantes de intereses de grupo, que se encuentran permanentemente en conflicto, sin embargo, este conflicto, bien administrado, puede resultar funcional y positivo.

En concreto el postulado de esta teoría es: la mejor forma de organización es la que crea confrontaciones entre los diferentes grupos de interés que existen en ella, y gestiona de manera positiva el conflicto. (Rivas, 2009)

1.1.8 Teoría del Desarrollo Organizacional:

Lewin, McGregor: el inicio de esta técnica de cambio derivó de los experimentos con grupos que hizo Kurt Lewin en 1946. Los grupos T, compuestos por “extraños”, es decir, por personas que no tienen antecedentes de trabajar juntos ni de relacionarse pero que laboran en una misma empresa, evidenciaron la dificultad de trasladar las habilidades adquiridas en el entrenamiento a la vida laboral.

Los trabajos posteriores de investigadores como Shepard, en las refinerías de ESSO, en Baton Rouge, Bayonne y Bayway en 1957, demostraron la importancia que tiene el compromiso de la alta dirección para el éxito del desarrollo organizacional (DO). Así mismo, se hizo evidente que la complejidad de las organizaciones requiere que las actividades de mejoramiento que propone el DO sean aplicadas en varios niveles: individual, interpersonal, por grupos e inter grupos.

En conclusión esta teoría señala que la mejor forma de organización es la que promueve el cambio planeado basado en intervenciones, en las que la colaboración entre distintos niveles organizacionales es posible. (Morales, 2010)

1.1.9 Teoría de la Contingencia:

Burns, Stalker, Woodward, Child: la teoría de contingencia enfatiza que no hay nada absoluto en las organizaciones o en la teoría administrativa, ya que todo depende del enfoque contingente, toda vez que existe una relación funcional entre las condiciones del ambiente y las técnicas administrativas apropiadas para el alcance eficaz de los objetivos de organización.

Que una organización prepare sus planes de contingencia, no significa que reconozca la ineficacia de su empresa sino que supone un avance a la hora de superar cualquier eventualidad que pueden acarrear grandes pérdidas, como en este momento.

Esta teoría propone que no existen principios universales, toda vez que de acuerdo a este enfoque hay modelos y planes apropiados para situaciones específicas, que no funcionan para otras, en el plan de contingencia la organización es primordial para el correcto funcionamiento de la empresa, ya que no es posible concebir a la empresa con nivel institucional y sin nivel intermedio, el enfoque de contingencia afirma que no existe forma única de organizar y administrar que sea aplicable a todas las empresas sino cada una de acuerdo al medio ambiente serán las situaciones y condiciones, ya que de ello dependerá el desarrollo de sus actividades y el logro de sus objetivos. (Rivas, 2001)

1.2 Teorías modernas de la Administración Organizacional:

Si bien, con las teorías clásicas de la administración de las organizaciones se han dado pasos agigantados en la búsqueda de eficiencia y rentabilidad, la ausencia de unanimidad en la determinación de una sola teoría exitosa ha dado paso a la aparición de nuevos intentos de explicación lo que ha formado nuevas perspectivas teóricas.

Dentro de las teorías modernas por nombrar algunas están la Teoría de la población ecológica (Hannan y Freeman, 1977, 1984), en la que se estudia el contexto en el que se desarrollan las organizaciones para observar las relaciones de causalidad entre la tipología y su desempeño, es decir, explica el cambio organizacional basado en acciones externas, por otro lado está la Teoría Institucional (Di Maggio, Powell, 1983; Meyer, Rowan, 1977), que señala que la organización debe ser estudiada como un todo y supone que el contexto social, las normas sociales, las creencias y las reglas restringen y orientan el comportamiento de los miembros de la misma, la mejor forma de organización es la que considera e integra a las personas que la hacen funcionar. Teoría del costo de transacciones (Williamson, 1975, 1985); postula que la mejor forma de organización es la que minimiza los costos de transacción, como el costo de la búsqueda del producto, el costo por negociar los contratos, etc. Teoría de la Auto-criticabilidad Organizada (Maturana y Varela, 1980); donde la mejor forma de organización es la que crea una red

de procesos u operaciones que pueden crear o destruir elementos del mismo sistema, como respuesta a las perturbaciones del medio.

Estas, entre muchas otras teorías modernas, están basadas en los paradigmas de complejidad que se abordarán más adelante y ofrecen un amplio abanico de explicaciones al funcionamiento de las organizaciones. (Rivas, 2009)

1.2.1 La empresa viva

Uno de los paradigmas que se han desarrollado en las últimas décadas es la comparación de la dinámica empresarial con las de los seres vivos; tarea que se ha encontrado con varias dificultades. La definición de vida es un concepto que aún no se logra precisar del todo, y todavía existe debate sobre qué característica define a los seres vivientes. Schrödinger en 1944, saliéndose de su rama de experiencia (la física) buscó ya una definición que permita abandonar los criterios metafísicos que desde hace siglos se manejan, determinando que los organismos vivos son aquellos que evitan decaer en desorden y equilibrio, es decir, son aquellos capaces de evitar la entropía, por lo menos momentáneamente. Esta aproximación está enfocada en un problema que yacía en los conceptos primordiales de la ciencia de la época y de la, relativamente recientemente desarrollada, segunda ley de la termodinámica, puesto que según esta ley todo sistema busca un estado de mayor desorden; considerando que los seres vivos demuestran un gran nivel de organización compleja, para la fecha parecía que los seres vivos violaban de algún modo esta ley universal. Schrödinger planteó el proceso de entropía negativa, es decir, extraer orden del entorno, por medio de absorber energía por medio de las funciones fisiológicas como la alimentación, la respiración etc. (Schrödinger, 1983). Este nuevo punto de vista resultó de gran aporte para la biología en años posteriores.

Siguiendo una línea similar Maturana y Varela proponen que la única característica definitoria de los seres vivos es la “autopoiesis”, término acuñado por los autores y que hace referencia a los sistemas cuyos procesos generan estructuras que generan nuevos procesos dentro de sí mismos, por medio de una serie de transformaciones, es decir, son capaces de vencer el proceso entrópico por medio de producirse a sí mismos. Añaden además que estos sistemas deben existir en el espacio físico (Maturana & Varela, 2003).

En años posteriores los autores publican su libro “El árbol del conocimiento” en donde se extiende el concepto de organismos vivos, clasificándolos como organismos de primer y segundo orden, siendo los primeros los organismos unicelulares y los segundos los multicelulares (Maturana & Varela, 2009). Siguiendo la evolución lógica de este argumento, en donde los organismos de segundo orden están constituidos por los de primer orden, el siguiente paso lógico sería argumentar la existencia de organismos de tercer orden, constituidos por seres multicelulares, y con esto se daría paso a nuevos conceptos sobre dinámicas vivientes en fenómenos sociales, culturales y de las organizaciones; sin embargo los autores no hacen tales aseveraciones y limitan estos conceptos a los sistemas físicos, aunque aplican ciertas dinámicas a la organización, como se mencionó anteriormente.

Esta perspectiva prudente ha sido predominante entre los autores del área organizacional, prefiriendo utilizar el concepto de organización como ser vivo, como una metáfora antes que tratarlo como un fenómeno real. Morgan lo utiliza para clarificar las dinámicas flexibles y orgánicas en su libro “Imágenes de la organización”, pero lo hace junto con metáforas de la organización como una máquina o como un cerebro (Morgan, 1996).

Arie de Geus hace uso del término “compañía viva” para nombrar a aquellas compañías que, por poseer una serie de atributos alcanzan una gran longevidad. Dichos atributos son:

- Conservadurismo en las finanzas
- Sensibilidad en relación al mundo a su alrededor
- Conciencia de su identidad
- Tolerancia a nuevas ideas

Y añade que, si se desea obtener organizaciones con estas características se debe: Valorar personas, no a los bienes, reducir el gobierno y control, organizar para el aprendizaje y dar forma a la comunidad humana (de Geus, 1997). Como se puede apreciar, estas características no responden a las cualidades comunes de los seres vivos en general. La descripción de organización viva de este autor, nuevamente no trasciende la metáfora.

En el 2002 Cornejo publica un libro en el que nuevamente se hace referencia a la organización viva bajo un nombre distinto “La organización celular”. El enfoque del autor

describe el aporte de las ciencias de la complejidad a la empresa y utiliza una serie de analogías en donde diferentes fenómenos del campo físico encuentran su contraparte en el campo empresarial (Cornejo, 2002). Si bien, este estudio considera que el enfoque de las ciencias de la complejidad es clave para entender las dinámicas organizacionales, Cornejo enfoca su análisis en una comparación, aunque completa, no posee un trasfondo científico donde se demuestre de manera convincente o definitiva la equivalencia de los conceptos de una rama en la otra.

Este parece ser el problema fundamental de este tipo de enfoques: la ciencia no ha encontrado de forma terminante que los conceptos de “organismo vivo” sean aplicables al entorno social u organizacional. Esto, sin embargo, está empezando a cambiar con la aparición de nuevos estudios en los que se utilizan conceptos desarrollados para el análisis y entendimiento de los seres vivientes, en dinámicas menos tangibles como la cultural o la social.

Dichos conceptos nacen de las ciencias de la complejidad y si bien se mencionó anteriormente que las teorías modernas de la administración se basan en la aplicación de dichas ciencias al campo empresarial; este estudio tiene una perspectiva externa a estas propuestas puesto que no trata sobre modelos empresariales específicos sino que busca identificar la expresión en las empresas de uno de los fenómenos complejos que se muestran en los sistemas vivos, independientemente del modelo organizacional utilizado por las empresas estudiadas, con el fin de obtener medidas cuantitativas de la organización que sean la base para la generación de nuevos modelos en estudios futuros o para el fortalecimiento de los existentes.

Con este objetivo, a continuación se abordan los conceptos iniciales de la complejidad para describir el paradigma general en el que se basa este estudio.

1.3 El estudio de fenómenos complejos

El enfoque tradicional de la ciencia, que dio sus primeros pasos con Galileo y se perpetuó con figuras como la de Newton, ha llevado a la humanidad al descubrimiento sistemático de verdades que hasta los últimos siglos estuvieron fuera del alcance del entendimiento humano y a este cambio de paradigma le debemos la mayoría de las maravillas

tecnológicas de las que se puede gozar hoy en día. Sin embargo; por su carácter reduccionista y analítico el entendimiento tradicional de la ciencia resulta insuficiente para explicar fenómenos cuya complejidad no puede separarse en partes (Stacey, 2010). Esta idea es relativamente nueva ya que no fue hasta que el matemático Edward Lorenz descubrió, en sus trabajos sobre meteorología a mediados del siglo XX, que cambios microscópicos en un sistema podían generar perturbaciones a escalas muchos mayores en el mismo, fenómeno que la cultura popular adoptó bajo el nombre de “efecto mariposa”. Este antecedente fue la piedra angular para la creación de la teoría del caos y las ciencias de la complejidad, que han generado métodos y mecanismos que buscan explicar con nuevos paradigmas no reduccionistas fenómenos que la ciencia tradicional no puede abarcar (Stacey, 2010).

1.3.1 Las ciencias de la complejidad:

A pesar de ser un fenómeno estudiado por varias décadas aún no existe un consenso científico sobre la definición de “complejidad”. En general se entiende a un sistema complejo como aquel que está conformado por muchos agentes (ya sean estos partículas, átomos, individuos, empresas, etc.) que interactúan entre ellos, con niveles de información y conocimiento heterogéneo. Otro factor fundamental es que no existe un sistema de control central que administre el sistema (University of Groningen, 2015). Anteriormente fenómenos de este tipo han sido analizados con un enfoque reduccionista de estilo “estímulo – respuesta”, lo que se llama comportamiento lineal, lo que resultó útil para explicar dichos fenómenos de manera aislada, pero dejando de lado sus interrelaciones. Las ciencias de la complejidad, por otro lado, nacen de otro paradigma.

En la base de estas ciencias radica la idea de que la complejidad nace de fenómenos simples (similar a la perspectiva reduccionista); sin embargo, dichos fenómenos se estudian a través de métodos que abarcan el análisis global de los fenómenos, de modo que el resultado permite explicar las dinámicas no lineales, fluctuantes e interrelacionadas que definen los sistemas estudiados. Estos métodos permiten descubrir en la evolución del sistema cómo los agentes se adaptan, por medio de la retroalimentación y el aprendizaje, para generar efectos altamente complejos (Phelan, 2001).

A continuación se hace una breve descripción de las principales ciencias que hacen uso de este enfoque en su estudio del mundo natural.

1.3.2 Teoría del Caos

La primera mitad del siglo pasado estuvo gobernada por avances tecnológicos que abrieron puertas a la exploración del mundo natural de manera nunca antes posibles. El principal de estos adelantos consistió en el desarrollo de las teorías de la información desarrollada en primer lugar por Turing con sus aportes a la que sería luego las ciencias de la computación. En su trabajo el mencionado autor llega a la conclusión de que, de contar con la información suficiente, es posible predecir el comportamiento de cualquier sistema, sin importar su complejidad (BBC four, 2016).

Esta perspectiva resultó sumamente atractiva para los científicos de la época; sin embargo, si bien es cierto que la capacidad computacional que se ha desarrollado con la tecnología actual nos permite analizar el comportamiento individual de millones de agentes en un sistema cambiante, en la segunda mitad del siglo XX Edward Lorenz demostraría que la capacidad computacional tenía un límite: la información.

Lorenz estudiaba los sistemas atmosféricos, con la esperanza de encontrar una ley global que los explique y generar predicciones del tiempo acertadas, para lo cual utilizaba simulaciones realizadas con ordenadores que analizaban una serie de variables, tal como Turing proponía. Sin embargo; en sus estudios descubrió que cambios microscópicos en las condiciones iniciales de los agentes de un sistema tenían el potencial de generar cambios mucho mayor al sistema en general. Para la fecha esto representaba una importante contradicción al paradigma predominante puesto que, bajo la física de la época, todo efecto debía ser proporcional a su causa. Este tipo de resultados es lo que llevó a la creación del concepto de efectos no lineales o “no linealidad”, una de las características fundamentales de los sistemas complejos (Stacey, 2010).

Los experimentos de Lorenz demostraron que para predecir el comportamiento de un sistema complejo, era necesario poseer información a un nivel tan minucioso que resulta

imposible su aplicación a escenarios reales, lo que pasó a ser parte de la teoría del caos; sin embargo su aporte es mucho mayor.

Caos, en el contexto de la ciencia difiere diametralmente de la idea de azar o desorganización, de hecho Lorenz demostró que si bien no puede predecirse el comportamiento de un agente individual en los sistemas complejos, el comportamiento general del sistema sí es previsible. En sus simulaciones descubrió que, sin importar las condiciones iniciales de los agentes que conformaban su sistema, la evolución del mismo siempre traía el mismo efecto: un patrón global de comportamiento hacía su aparición, sin que ningún tipo de instrucción o influencia externa guie este comportamiento coordinado (Lorenz, 1962). El autor describió esta capacidad de auto-organización como guiada por un “atractor” inherente al sistema y que podía ser descrito en términos matemáticos. La aparición de estos patrones es conocido actualmente como “emergencia de comportamientos” o “fenómeno emergente”, y se ha comprobado que en diferentes sistemas naturales, los atractores nacen de la estructura misma del sistema, ya sea esta física, química, biológica, etc. (Santa Fe Institute, 2015).

1.3.3 Cibernética

Si bien no existe una definición definitiva del término cibernética; Norbert Wiener, el creador del término, buscaba agrupar en este el “estudio del lenguaje, de los mensajes como medio de manejar aparatos o grupos humanos, el desarrollo de las máquinas de calcular y otros autómatas similares” (De Moragas, 2011, pág. 28), además en sus estudios incluyó análisis sobre el sistema nervioso y la psicopatología. Actualmente se identifican dos etapas históricas del desarrollo de esta ciencia. La primera cibernética, que se enfoca en los ciclos de retroalimentación negativa, es decir, aquella retroalimentación que mantiene estable el comportamiento y estructura del sistema (morfoestasis). La segunda cibernética se enfoca principalmente en el estudio de la retroalimentación positiva, que es la encargada de generar cambios en los sistemas y sin la cual no podría existir crecimiento o evolución (morfogénesis). Considerando que los organismos vivos son sistemas adaptativos complejos, la cibernética, a través del estudio de las interrelaciones, en diferentes niveles, entre los sistemas físicos y sociales en los que la vida se desarrolla, ha brindado importantes insumos al momento de explicar sus dinámicas no lineales.

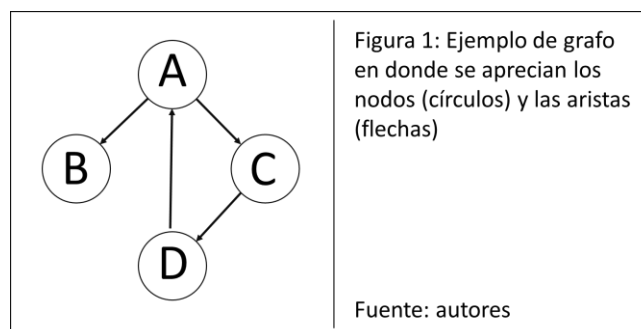
1.3.4 Teoría de sistemas

La teoría de general de sistemas nació con el biólogo Ludwing von Bertalanffy, que la proponía como una ciencia transversal para el estudio de todo sistema. Para el autor la cibernética debe ser incluida como uno de los componentes de su teoría (Bertalanffy, 1968). Años después Maturana y Varela añadieron a la teoría los conceptos de autopoiesis mencionados anteriormente (Maturana & Varela, 2003) y su aplicación organizacional sería ampliamente difundida por Peter Senge (Senge, 2011).

Si bien los aportes de esta ciencia han sido de gran importancia para entender el desarrollo de los sistemas complejos, puesto que impulsa un cambio de paradigma hacia el desarrollo del pensamiento sistémico, en su visión más radical propone que todo es afectado por todo, y por lo tanto para entender un fenómeno, se debe contar con información sobre el funcionamiento de todos los sistemas (Phelan, 2001), lo cual representa un proceso inmanejable y opuesto al de otras ciencias de la complejidad que buscan explicar los fenómenos desde las leyes simples que gobiernan sus interacciones.

1.3.5 Teoría de grafos

También conocida como teoría de gráficos, no está relacionada a los conocidos gráficos estadísticos sino a estructuras gráficas conformadas por nodos y aristas que regularmente incluyen flechas que indican el tipo de relación que presentan los nodos como se ve en la figura 1:



Si bien gran parte de los aportes de esta teoría se han enfocado en su aplicación a la topografía, también ha generado importantes insumos a las ciencias de la complejidad como por ejemplo el descubrimiento de que en el sistema social mundial, toda persona en el planeta está separada de cualquier otra por tan solo seis nodos en lo que se conoce comúnmente como los “seis grados de separación” (Cox, 2015), y de manera más profunda ha ayudado a entender los sistemas complejos gracias a que graficando cualquier sistema con esta metodología, se puede realizar análisis sobre el número de nodos y vértices, así como la proporción, dirección y cercanía de sus conexiones para generar medidas matemáticas de los sistemas, permitiendo así cuantificar su complejidad (McCabe, 1976).

1.3.6 Teoría de Juegos

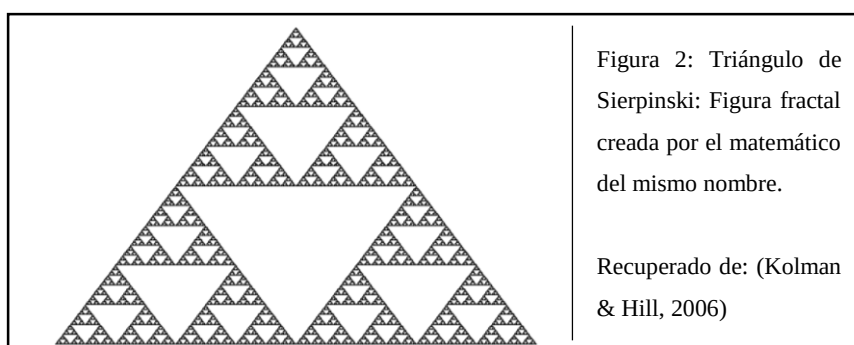
Esta teoría fue creada por Nash en los años cincuenta, seguido por varios estudiosos que perfeccionaron su trabajo. En esta teoría un juego consiste en un espacio de interacción en el que existe más de un agente y este posee capacidad de decisión sobre temas que afectan a los otros jugadores. Como se puede imaginar en este espacio los conflictos que emergen pueden ser varios y esto sirve para clasificar los juegos (Ricart, 1988).

Existen dos tipos básicos de juegos, los cooperativos y los no cooperativos. En el primero el análisis está dirigido a entender las posibilidades de que los jugadores lleguen a acuerdos sobre qué decisiones debe tomar cada uno. El segundo omite este tipo de acuerdos y analiza las decisiones individuales en dos escenarios básicos: i) Juegos estáticos: cuando los jugadores no tienen acceso a la información sobre las decisiones de los otros; ii) Juegos dinámicos: Cuando uno de los jugadores conoce de antemano la decisión de los otros antes de generar la información propia (Perez, Jimeno, & Cerdá, 2004).

Esta teoría, que ha ido creciendo en adeptos en las últimas dos décadas, ha generado aportes de gran importancia para las ciencias económicas, haciendo claro su carácter fluctuante y por tanto su limitada predictibilidad, por lo que se hizo acreedor en 1994 a Nash, Selten y Harsanyi al premio Nobel de la economía por haber generado los principales aportes a esta teoría (Perez, Jimeno, & Cerdá, 2004).

1.4 Geometría fractal

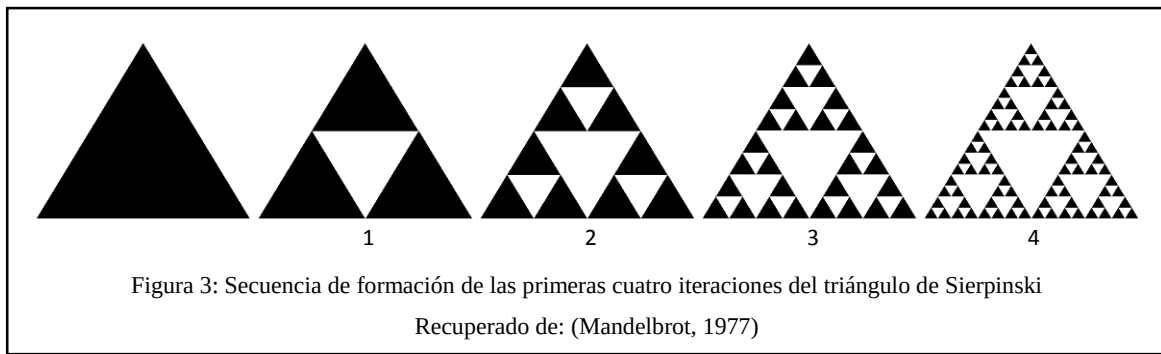
Por último se encuentra la ciencia de la complejidad que compete al tema respectivo de esta tesis: la geometría fractal. Este es un campo que, a pesar de haber nacido de la matemática pura, con una serie de conceptos que en algún momento se consideraron simples curiosidades teóricas más que teoremas útiles para la explicación del mundo natural², desde mediados del siglo pasado ha demostrado cada vez con más acierto que es capaz de describir las dinámicas complejas de manera muy acertada (Mandelbrot, 1977).



El término fractal fue acuñado por el matemático Benoît Mandelbrot (Jersey & Schwarz, 2008), que con sus observaciones se empeñó en buscar explicaciones cuantitativas a fenómenos que la geometría clásica prefería evitar.

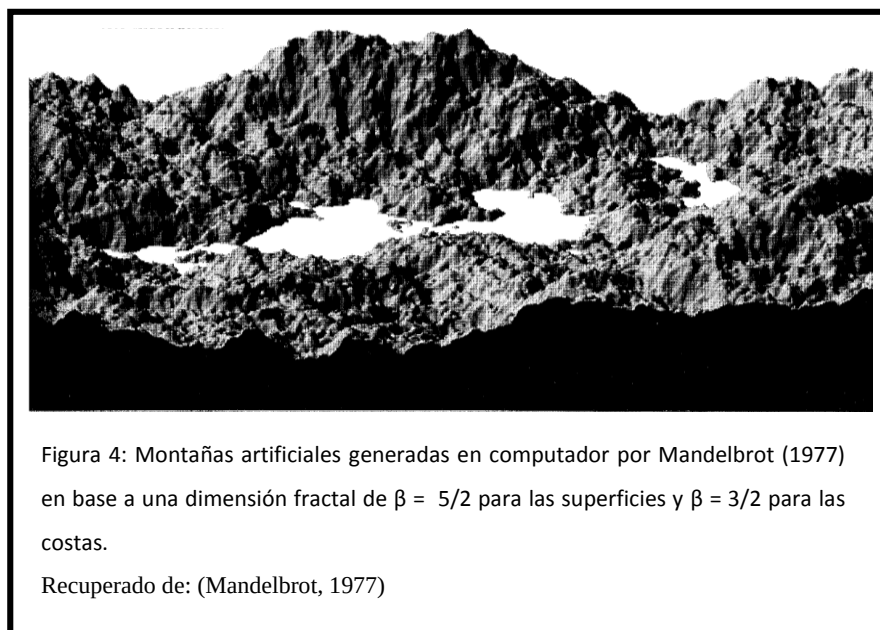
Un fractal puede definirse como una estructura geométrica que tiene una propiedad de auto-similitud, es decir está compuesta por una serie de copias más pequeñas de sí misma, y esta característica se repite a varias escalas. Matemáticamente se crean por la repetición (iteración) continua de una regla básica; por ejemplo, como se aprecia en la figura 3 en el triángulo de Sierpinski del centro de la figura inicial se sustrae un triángulo de un cuarto del tamaño original generando tres triángulos más pequeños, el proceso entonces se repite en estos y en los resultantes de estos en la siguiente secuencia (Feldman, 2015):

² Figuras como el set de Cantor o el triángulo de Sierpinski fueron propuestas mucho antes de que exista el término fractal y poseen propiedades que resultan imposibles para la geometría tradicional.



Al ser un proceso netamente matemático, este puede extenderse hasta el infinito, generando un número de copias, asimismo, infinito (Feldman, 2015).

En sus trabajos, el creador del concepto demostró que muchos fenómenos naturales pueden explicarse mediante el uso de una lógica fractal en ecuaciones relativamente simples, y con este método logró dilucidar los mecanismos detrás de la creación de figuras complejas e “impredecibles” como forma de galaxias, islas, montañas, arboles, ríos entre otros (Mandelbrot, 1977). De este modo, todas estas estructuras que fueron consideradas amorfas para la geometría clásica, adquieren una lógica administrable y hasta “previsible” (en sus características globales) dentro de la geometría de Mandelbrot, abriendo así este nuevo paradigma para su aplicación interdisciplinaria.



Anteriormente en este estudio se habló de la falta de pruebas científicas que permitan extrapolar más allá de la metáfora ciertas propiedades de los seres vivos a las dinámicas sociales, sin embargo existen estudios que avanzan en este sentido, apalancados en una de las propiedades básicas de los fractales: la escalabilidad. Con el fin de comprender mejor este aspecto, antes de abordar a profundidad esta ciencia es necesario hacer una breve descripción de la escalabilidad desde una perspectiva netamente organizacional, sin tomar en consideración la geometría fractal.

1.4.1 La visión tradicional de la escalabilidad en las empresas:

En su definición clásica los beneficios de la escalabilidad se asocian a la “economía a escala”, fenómeno en el que los costos de producción bajan a medida que el tamaño de la empresa aumenta (Rittenberg & Tregarthen, 2011), sin embargo este enfoque es limitado y, como se demuestra a continuación, el tamaño de una organización puede ser clave en la sostenibilidad de una compañía, generando beneficios muy superiores al simple ahorro de dinero.

Por un lado, está la perspectiva de que las empresas de mayor tamaño tienen mayor capacidad para sobrevivir a situaciones imprevistas, como se demostró en un estudio sobre la supervivencia de micro empresas financieras luego de la crisis del 2007 – 2008 (Vi Ngo, Mullineux, & Ly, 2014). A simple vista, y según la propuesta de los autores, la mejor estrategia que empresas pequeñas pueden tomar ante estos escenarios es ganar masa mediante la fusión entre entidades, lo que se traduciría en mayor estabilidad.

Contrastando estos resultados está el hecho de que existen muchas empresas que a pesar de su gran tamaño no son capaces de afrontar las dificultades, lo que llevó a la conclusión en el estudio de Bottazy y Tamagni sobre empresas italianas, en el que las firmas grandes son igual o menos capaces de afrontar situaciones imprevistas, pero que tienden a sobrevivir gracias a su mayor poder en el mercado, acceso a mejores fuentes de financiamiento y ayuda externa, generalmente del estado (Bottazzi & Tamagni, 2011). Considerando que ninguna de estas ventajas es inherente al tamaño de la organización, o

producto directo de la economía a escala³, y que en realidad en el estudio mencionado se concluye que las empresas pequeñas son quienes mejor pueden manejar las crisis, parece ser necesario re plantearse la función de la escalabilidad desde una nueva perspectiva.

Estos resultados parecen indicar que las ventajas de la escalabilidad no son una propiedad innata del tamaño sino, como propone Jablonski (2016), provienen de la capacidad de una empresa para aumentar o disminuir su dimensión de acuerdo a las circunstancias que enfrente la organización. Esta perspectiva es mucho más amplia que la simple reducción de costos de la propuesta original; sin embargo, si bien la metodología que el autor propone tiene el acierto de basarse en la interacción dinámica con los stakeholders, está lejos de generar un análisis cuantificable sobre qué aspectos deben escalarse y en qué medida.

Como se puede apreciar, nuevamente la incapacidad de las ciencias tradicionales para expresar cuantitativamente fenómenos globales complejos, nos obliga a cambiar nuestros paradigmas y mirar hacia aproximaciones más novedosas.

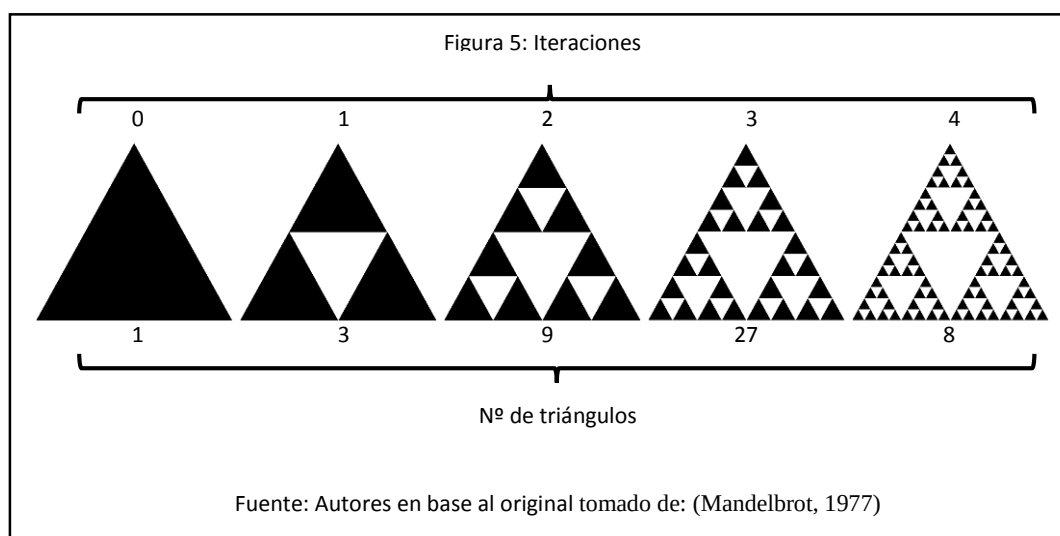
1.4.2 Fractales y los nuevos paradigmas de la escalabilidad

Con el fin de explicar los nuevos paradigmas de escalabilidad, este estudio sigue la iniciativa de West y su equipo (West, 2011) donde se intenta ir un paso más allá de la metáfora y demostrar que existen metodologías de análisis cuantitativo, comunes para ambas clases de sistemas: los vivos y los organizacionales. Con este fin se presenta a continuación la definición de escalabilidad fractal en la geometría, para ser aplicada luego a las organizaciones.

³ Si bien el tamaño de la empresa puede apalancar la existencia de estas ventajas, ellas son derivado real directo de las interrelaciones que la organización haya generado durante su proceso histórico, independientemente de su tamaño.

1.4.3 La escalabilidad expresada gráficamente

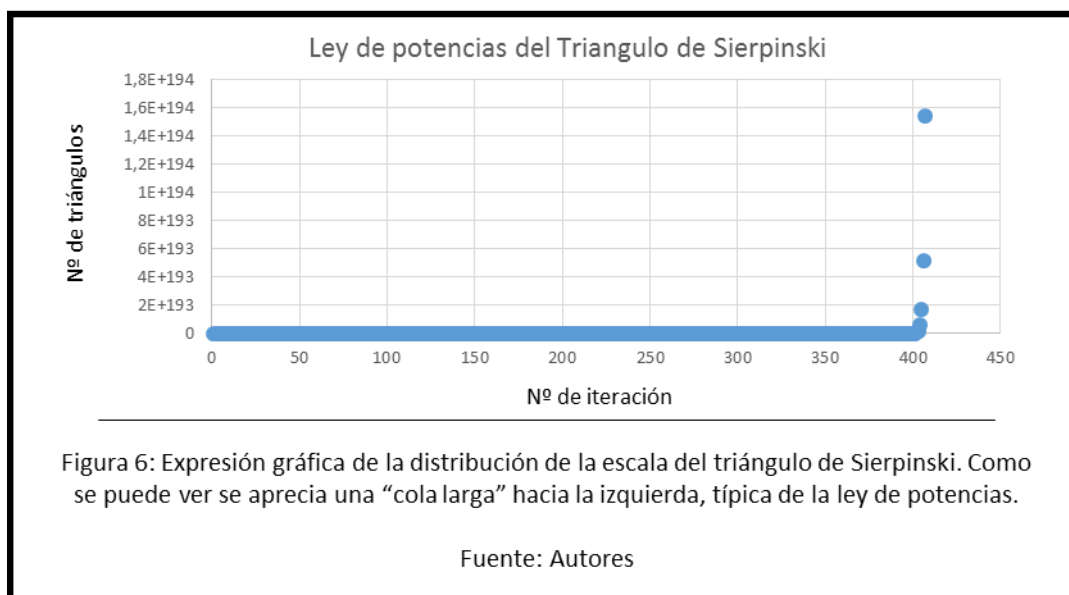
Un objeto fractal tiene la propiedad (única y que lo distingue de otros modelos geométricos) de que al ser escalado no pierde su forma inicial. Es decir, no importa qué tanto se acerque o se aleje el enfoque al detalle sobre la figura esta siempre se mantendrá igual, lo cual se define como la propiedad de Auto-similitud fractal (Feldman, 2015). Esto significa que a medida que se aumenta el detalle (tamaño) de un fractal más copias de sí mismo se encuentran dentro.



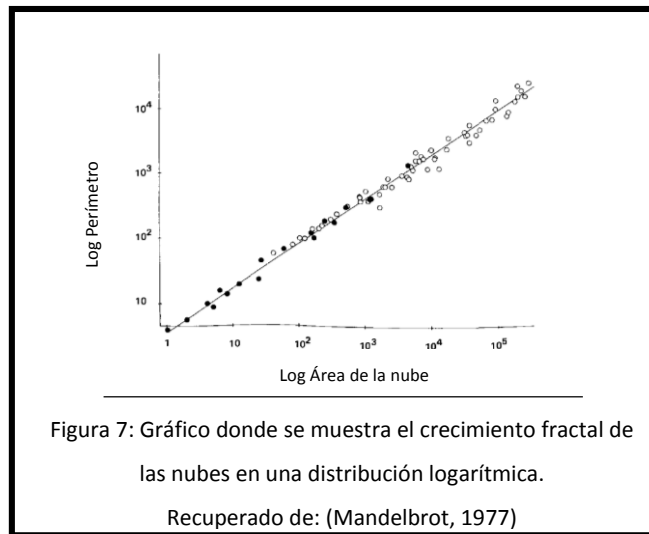
Continuando con el ejemplo del triángulo de Sierpinski podemos ver en la figura 5 que a medida que el fractal crece mayor es el número de triángulos que lo componen, y si se aumenta el tamaño de uno de estos triángulos, dentro se encontraría la misma figura inicial, nuevamente compuesta de triángulos más pequeños. Matemáticamente esta relación se expresa por medio de una ley de potencias.

1.4.3.1 Ley de potencias

La ley de potencias es una relación matemática entre dos variables distintas que se expresa en un gráfico de distribución, que se diferencia de la distribución normal (campana de Gauss) y de una curva exponencial, puesto que tiene un ángulo casi siempre muy marcado, seguido de una “gran cola”, que se extiende por la mayor parte del gráfico (Stumpf & Porter, 2012).



En el ejemplo observado den la figura 6, se han graficado el número de triángulos que existe dentro del Triángulo de Sierpinski (hasta la iteración 407) y que crece de manera bastante plana a la izquierda (cola larga) hasta llegar a los últimos casos donde se dispara hacia la parte superior derecha del gráfico. Este tipo de fenómenos no es exclusivo de la dinámica fractal (Clauset, Shalizi, & Newman, 2009), pero siempre está presente en ella, donde el nivel de crecimiento de la curva se define por un valor denominado “Dimensión Fractal” representado en este estudio por el carácter “ β ” que en el caso del triángulo de Sierpinski es $\beta=1,584$ (Feldman, 2015). Si los valores en esta distribución se transforman a logaritmos, el gráfico muestra una línea recta. Este fenómeno es de suma importancia puesto que, para estudios de figuras en la naturaleza, la pendiente de esta línea es utilizada para obtener la dimensión fractal del fenómeno estudiado (Clauset, Shalizi, & Newman, 2009).



Esto se demuestra por ejemplo en la relación entre el perímetro y el área de las nubes (Figura 7) que escala de manera fractal y que, al mostrarse en una regresión logarítmica se expresa en una línea notablemente recta con una inclinación (dimensión fractal) de $\beta=1,33$ (Mandelbrot, 1977).

Este tipo de análisis es el que da origen al presente estudio, en base a su aplicación en contextos diferentes al matemático, por ejemplo en el campo de la biología o de las ciudades.

1.4.4 Escalabilidad en los seres vivos.

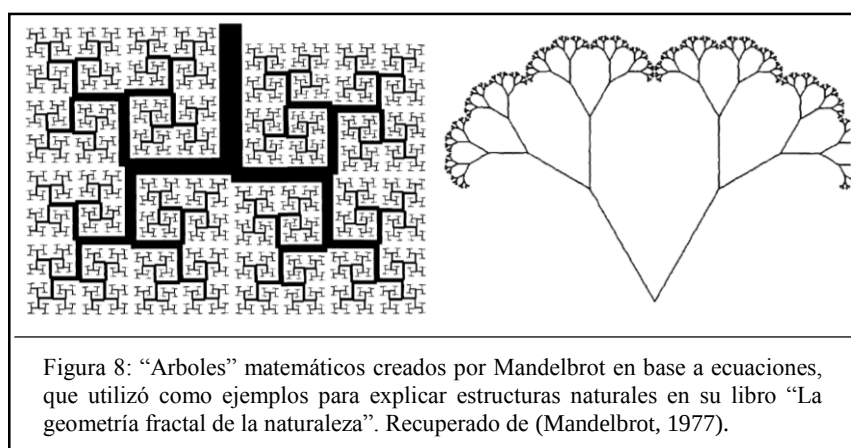
La evolución ha generado fenómenos de complejidad inconmensurable, todavía muy por sobre el alcance del entendimiento humano, gracias a los procesos de selección natural que han desarrollado altos grados de eficiencia en las estructuras biológicas (Edelman, 1993). Una muestra de esto es la escalabilidad que descubrió Kleiber cuando estudió el metabolismo de los mamíferos y aves.

En su análisis el mencionado autor demostró que a mayor es el tamaño del animal, menor es su índice metabólico, en otras palabras mientras más grande es el ser vivo, proporcionalmente menor es la cantidad de calorías que necesita consumir, puesto que su eficiencia energética es mayor (Kleiber, 1932). Dicho estudio fue luego complementado con análisis similares en animales de sangre fría, plantas, células e incluso mitocondrias

encontrando los mismos resultados (Jersey & Schwarz, 2008). A este tipo de relación se la denominó “alométrica” y dinámicas similares se encontraron en la edad promedio de los animales, su número de latidos por minuto, horas de sueño necesarias, índice de sustitución del ADN nucleico, densidad de mitocondrias, entre muchas otras (West & Brown, 2004).

A pesar de la consistencia en los resultados, los estudiosos no encontraban una explicación satisfactoria para este fenómeno hasta que en 1997 Geoffrey West y su equipo generaron una relación matemática entre este modelo de escalabilidad y la estructura fractal de los vasos sanguíneos, bronquios y otros órganos del cuerpo (West, Brown, & Enquist, 1997) trabajo que fue complementado en años posteriores, explicando que el proceso de selección natural es el encargado de generar organismos que evolucionan hacia un estado “óptimo” en cuanto a la distribución de energía y que resultó en la formación de estas formas (West & Brown, 2004).

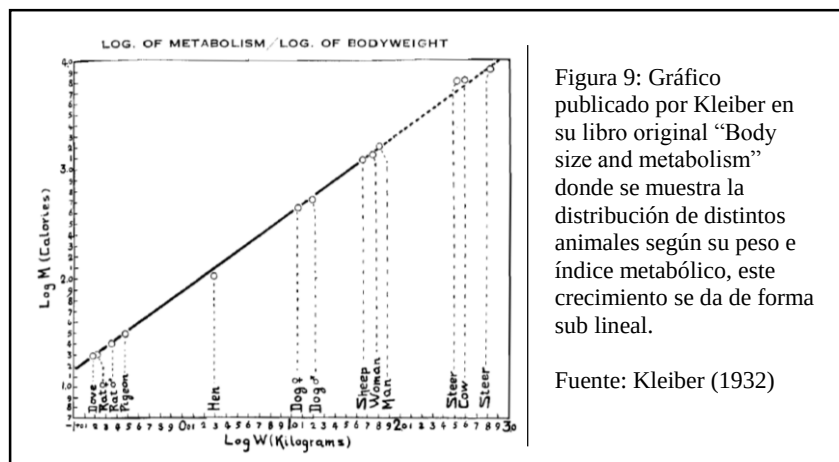
Con estructura fractal se hace referencia a una construcción geométrica que tiene una propiedad de auto-similitud, es decir está compuesta por una serie de copias más pequeñas de sí misma (Feldman, 2015). Este concepto fue propuesto por Mandelbrot quien desde un punto de vista matemático ya se refería a la existencia de estas estructuras en los seres vivos y proponía modelos matemáticos para explicarlas en base a gráficos como el siguiente (Mandelbrot, 1977):



Como se puede ver estas ramificaciones no son más que una figura inicial que se repite a varias escalas, por lo que se dice que posee auto-similitud. El autor además muestra con ejemplos cómo el mismo fenómeno se puede observar en la estructura de los vasos

sanguíneos donde la arteria principal es auto similar con relación a las ramas que se desprenden de la misma y estas con relación a las que nacen de ellas. Esta característica es la que según West (2004) genera la eficiencia entre especies al momento de aumentar (escalar) su tamaño.

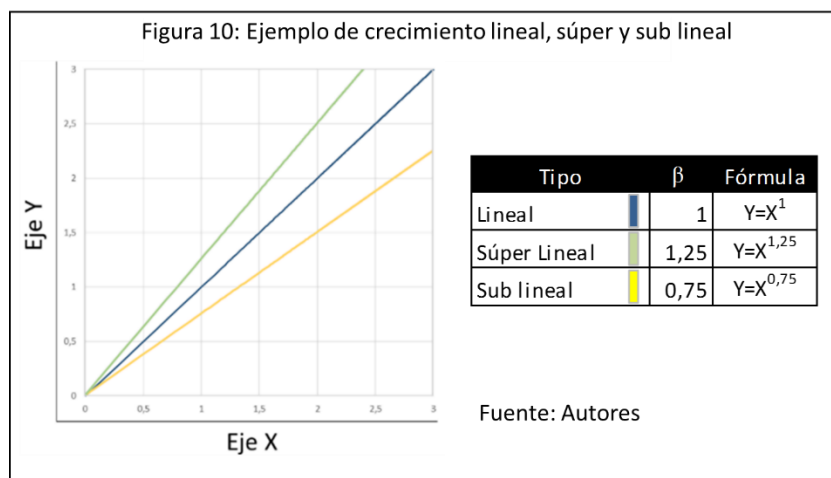
1.4.5 Contextualizando los hallazgos de West: Escalabilidad lineal, sub lineal y súper lineal



Matemáticamente la eficiencia a la que se hace referencia se demuestra en base a gráficos logarítmicos que expresan una línea que crece en forma de ley de potencias de acuerdo a un exponente específico (β) y que en teoría fractal se denomina "dimensión fractal" y según el tipo de inclinación que se genere se clasifican en tres tipos (Clauset, Shalizi, & Newman, 2009):

- De relación lineal: es aquel en que los dos ejes crecen en proporciones iguales, es decir tiene un exponente $\beta = 1$
- En un gráfico sub lineal la variable del eje Y crece en menor medida que el eje X de modo que el exponente $\beta < 1$.
- En un gráfico súper lineal la variable del eje Y crece en mayor medida que el eje X de modo que el exponente > 1 .

Estas tres dinámicas de crecimiento se aprecian en el siguiente Ejemplo:



Para fines prácticos la distribución lineal ($\beta = 1$) refleja que no existe ningún tipo de beneficio o desventaja en el crecimiento del sistema mientras que en los otros dos casos la interpretación depende del contexto donde se encuentren los resultados. Un crecimiento sub lineal es aquel que tiene un valor inferior a 1. La ley de Kleyber, por ejemplo, es un caso de crecimiento sub lineal donde el valor de “Y” es el índice metabólico que crece en proporción $\beta = 3/4$, sobre el valor de la masa “X” multiplicado por una variable independiente “C”; es decir $Y=CX^{0.75}$ (West & Brown, 2004), de manera muy similar la línea amarilla del ejemplo.

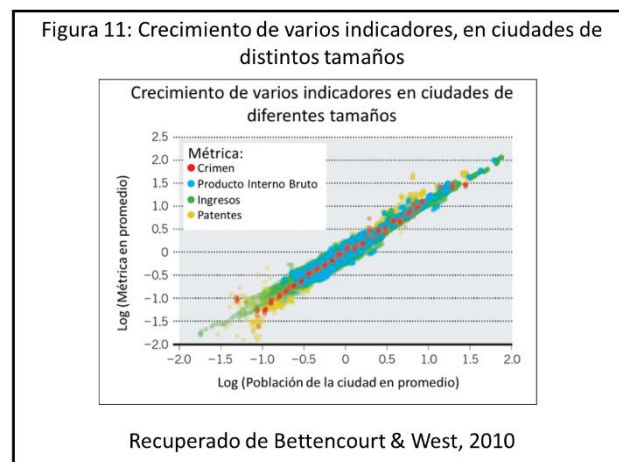
Las dinámicas súper lineales (cualquier valor por encima de 1), por otro lado, son comunes en la explicación de dinámicas sociales por lo que son de especial interés para el presente estudio, cómo se muestra a continuación.

1.4.6 Escalabilidad en la dinámica social de las ciudades:

Como se mencionó anteriormente, Geoffrey West junto con otros investigadores del Instituto Santa Fe para el estudio de las ciencias de la complejidad, está buscando metodologías que demuestren que la relación entre la dinámica de los seres vivos y de las organizaciones va más allá de la simple metáfora, y es esta línea de pensamiento la que sirve de base para este trabajo; por lo tanto a continuación se revisan los hallazgos de varios estudios enfocados en la forma de organización social humana más significativa para la realidad actual: las ciudades.

La preocupación de los estudiosos en esta área se deriva del hecho de que actualmente la mayoría de personas en el mundo viven en zonas urbanas, lo que representa un reto profundo para la sostenibilidad del planeta; esto les llevó a la búsqueda de desarrollar una teoría general de las ciudades que explique su crecimiento y provea información fiable que facilite la creación de políticas públicas sustentables y amigables con el medio ambiente (Bettencourt & West, 2010).

Como se dijo anteriormente, las organizaciones sociales son altamente complejas, y las ciudades no son la excepción. Estas tienen una serie de facetas (económica, social, infraestructura, espacio, etc.), que se interrelacionan de manera dinámica, sin embargo si se encuentran patrones similares entre estas facetas se pueden generar parámetros que sirvan de base para la deseada teoría de la ciudad (Bettencourt L. M., 2012). En esto se han centrado varios estudios que los autores resumen en un artículo para la revista Nature en el siguiente gráfico (Bettencourt & West, 2010):



Como se puede ver en la imagen, existe un crecimiento muy similar entre diferentes variables. Este crecimiento es de naturaleza súper lineal con un valor de β entre 1,16 y 1,18. En el lado negativo estos resultados indican que mientras más grande es la ciudad, proporcionalmente más susceptible es al crimen, pero por otra parte también desarrolla más creatividad y mayores ingresos en general.

Este fenómeno no se da por el simple hecho de tener más personas (eso generaría una dinámica lineal) ni por la intención consciente de las personas de generar mayores

recursos, sino de dinámicas informales que emergen de manera espontánea (Bettencourt, Lobo, & Strumsky, 2004). Este efecto es muestra de que existe una relación de auto similitud (fractal) que produce este crecimiento (Bettencourt, Lobo, Helbing, Kühnert, & West, 2007) y el entendimiento de estas dinámicas puede generar grandes beneficios.

Por otro lado, cuando se analiza el uso de recursos y por lo tanto la eficiencia en las ciudades, se observa una dinámica sub lineal, similar a la encontrada en los seres vivos, aunque con una dimensión fractal de 0.8, es decir con una eficiencia menor, aunque no en gran medida (Bettencourt & West, 2010).

El hecho de encontrar este tipo de relaciones es prometedor ante la idea de formular una teoría de las ciudades, en especial cuando se considera que estos resultados son independientes de factores particulares de cada población, como su situación geográfica, diseño, historia, cultura, etc. (Bettencourt & West, 2010), y que son altamente sostenibles en el tiempo, tanto que incluso aquellas urbes que se consideran desviaciones por estar muy por encima o por debajo de la línea de crecimiento esperado, conservan esa tendencia durante décadas, lo que permite predecir su desempeño futuro y esto abre las puertas a la generación de políticas más acertadas en el largo plazo (Bettencourt L. M., Lobo, Strumsky, & B. West, 2010).

Estos indicadores además pueden relacionarse estadísticamente a dinámicas individuales y sociales incluyendo cambios en comportamiento de las personas, las estructuras de contacto social y comportamientos migratorios lo cual indica que, aunque el comportamiento humano puede ser tan variable, los efectos emergentes que de él se derivan son previsibles (Bettencourt L. M., Lobo, Strumsky, & B. West, 2010).

Esta característica de poder predecir el comportamiento de la ciudad y la sociedad por medio de la evaluación de su masa en relación a una variable explicada específica, en un proceso análogo a la toma de signos vitales de un ser vivo, es lo que da verdadera importancia a estos hallazgos puesto que hasta el momento las dinámicas sociales han sido consideradas altamente desordenadas, y son este tipo de resultados sobre los que quiere indagar en este estudio.

1.5 Aplicación de la escalabilidad fractal en las empresas

La dinámica fractal ha crecido en acogida durante las últimas décadas y este estudio no es el primero en incluirla en la dinámica organizacional.

En 1999 se proponía ya organizar en forma fractal la disposición de islas de producción, método que según los autores, provee de flexibilidad y robustez a los procesos productivos, con flujos mejores que en implementaciones funcionales y con un fácil poder de expansión (Montreuil, Venkatadri, & Rardin, 1999). Años más tardes se propusieron nuevos métodos de organización del “lay out” de manufactura en base a células multifuncionales capaces de procesar una vasta cantidad de productos encontrando que es posible lograr una reducción de los costos de transporte entre unidades de producción (Saad & Lassila, 2004).

Siguiendo esta misma línea, en una serie de estudios realizados por la universidad de Corea del Sur, se plantea la posibilidad de crear estructuras de producción en base a agentes al que denominaron Sistema de producción fractal o FrMS, según sus siglas en inglés. En este modelo el sistema productivo está conformado por nodos de producción autónomos que pueden adaptarse a diferentes necesidades de producción añadiendo o dejando de usar uno u otro agente. (Ryu, Son, & Jung, 2003) En un estudio posterior se utiliza esta misma base teórica para proponer la creación de un marco conceptual para la creación de modelos de producción auto evolutivos. Según los autores, este modelo aprovecha las ventajas de las dinámicas complejas para generar auto organización, y formación autónoma de objetivos en base a crear dinámicas organizativas enfocadas en las relaciones (Shin, Mun, & Jung, 2009 y Shin, Mun, Lee, & Jung, 2009). Por último se profundizó en los modelos de generación autónoma de objetivos, desde la perspectiva del aprendizaje continuo; modelo que se probó por medio de simulaciones cuyos resultados fueron prometedores (Shin, Ryu, & Jung, 2012) al punto en que se buscó el uso de este modelo para solucionar problemas de toma de decisiones en relación al manejo de recursos naturales (Herghiligui, Robledo, & Kobi, 2013).

Como se puede apreciar en todos estos estudios, existe una tendencia a aplicar los criterios de dinámica fractal principalmente a la disposición física de los procesos productivos, sin

embargo este enfoque, aunque útil y novedoso, representa una aplicación superficial del concepto fractal ya que se enfoca sólo en los factores “de forma” (auto similitud) y deja de lado la naturaleza matemática profunda que implica la escalabilidad y que se expresa justamente en su dimensión fractal. En ninguno de estos estudios se hace un análisis de dicho valor, lo que abre la interrogante de si realmente existe un factor de escalabilidad en dichas aplicaciones.

Más importante aún, considerando que el fenómeno fractal en las ciudades se da espontáneamente⁴, existe la posibilidad de que la existencia de fenómenos de escalabilidad en las empresas se dé también de manera automática, sin la necesidad de la implementación formal de este tipo de filosofías, con prácticas como las mencionadas anteriormente; de ser así, la dimensión de escalabilidad debe ser evidente y medible en los indicadores de empresas ya existentes, hecho que aún no ha sido estudiado.

Sin embargo, antes de realizar cualquier hipótesis, cabe preguntarse si realmente la dinámica de las ciudades es equiparable a la dinámica de las empresas. Es indudable que la dinámica en ambos niveles está interrelacionada; es más, dos de los indicadores que demostraron escalabilidad fractal en las ciudades (PIB y patentes generadas) dependen directamente o están íntimamente relacionados con la actividad de las organizaciones, sin embargo esta interconexión es más profunda que una correspondencia causa efecto.

Para ejemplificar esto, analicemos un fenómeno social ampliamente estudiado: la cultura. Toda interacción humana sostenida en el tiempo genera una cultura que se compone de entendimientos complejos sobre la realidad, que el grupo en sí da por sentados y que se expresa por patrones de lenguaje y actividades cargadas de un significado relativamente escondido pero transversal en todos los individuos de dicho grupo (Wilkins & Ouchi, 1983). De este modo existen culturas amplias que abarcan grupos de personas extensos, como la cultura país, dentro de la cual, grupos más pequeños a su vez mantienen interrelaciones sostenidas, creando sub culturas que si bien mantienen características de

⁴ La dinámica fractal de las ciudades ocurre espontáneamente ya que no depende de un ente regulador que implemente una filosofía de gestión específica, como es el caso de los modelos empresariales citados, sino que surge de forma automática de la interacción diaria de sus habitantes.

la cultura global que las abarca, muestra características específicas únicas de dicho grupo. De este modo se generan niveles de subculturas, por ejemplo: cultura ciudad, cultura empresa, cultura familia, todas ellas poseedoras de características propias pero inmersas en una cultura más amplia (Needle, 2015).

Como se puede apreciar, la interacción humana genera fenómenos transversales que afectan a varios niveles de la sociedad a la vez. Ligando este hecho al contexto de este estudio, es importante recordar que en sus conclusiones Bettencourt y West atribuyen la aparición de escalabilidad fractal en las ciudades a la simple interacción entre sus ciudadanos, sin que exista siquiera la intención consciente de generar nada en particular (Bettencourt & West, 2010). Si consideramos que un horario laboral de mínimo 40 horas a la semana, como lo establece la ley ecuatoriana, representa la mayor parte de tiempo productivo de una persona, en donde se concentran la mayor parte de sus interacciones productivas conscientes, es natural esperar que el fenómeno de transversalidad observado en la cultura se repita también en lo referente a la dimensión de escalabilidad, y que las empresas sean catalizadores prolíferos de la existencia de relaciones fractales, hipótesis con la que concuerdan los investigadores de la escalabilidad en las ciudades (Bettencourt, Lobo, Helbing, Kühnert, & West, 2007).

En base a estas concepciones previas se estableció la hipótesis de este estudio, que consiste en identificar si existen patrones de escalabilidad fractal en las empresas, utilizando indicadores numéricos tal como se hizo en el estudio de ciudades, y de ser el caso establecer qué dimensión fractal les corresponde.

1.5.1 Posibles implicaciones en el Desarrollo Organizacional

Un avance en este campo significaría proveer la capacidad al experto en desarrollo organizacional para entender los “signos vitales” de una organización, por medio de la medición simple de pocas variables fácilmente medibles (como el número de habitantes, en el caso de las ciudades), lo que se traduce en la generación de entendimientos profundos, sistémicos y no reduccionistas, y por lo tanto en la propuesta de mejores intervenciones. De obtener resultados similares a los de las ciudades, este estudio sería un primer paso hacia el desarrollo de conocimientos teóricos que pueden

traer grandes beneficios al momento de incrementar la sostenibilidad de una empresa, por ejemplo:

- Conociendo los diferentes factores que crecen de manera similar se pueden proponer mecanismos interrelacionados que generen un impacto sistémico con un mayor nivel de predictibilidad (Bettencourt L. M., 2012).
- Al conocer los factores transversales para todas las organizaciones, se puede analizar las dinámicas individuales e independientes de cada empresa conociendo su impacto específico, facilitando el desarrollo organizacional en esas áreas (Bettencourt L. M., Lobo, Strumsky, & B. West, 2010).
- Conociendo la línea de crecimiento común de las organizaciones, la empresa puede generar planificación estratégica efectiva al largo plazo en base a la información cuantitativa de su estado actual, además de tomar medidas necesarias para corregir desviaciones indeseadas (Bettencourt & West, 2010).
- Esta información puede servir como insumo para generar herramientas con parámetros cuantitativos que evalúen el potencial de una organización para crecer a una escala específica disminuyendo los riesgos que implica una mayor operación (Bettencourt L. M., Lobo, Strumsky, & B. West, 2010)
- Si al igual que en lo observado en las ciudades, las tendencias de escalabilidad también se mantienen por periodos significativos en el tiempo en las empresas, se puede asumir que el estado de la organización que nace (emprendimiento) determinará su desempeño durante varios años. Si se identifican los factores determinantes en la escalabilidad, se pueden crear empresas enfocadas en sobrepasar las condiciones iniciales de desempeño en dichas facetas, lo que se mantendría en el tiempo y generaría mayor sostenibilidad (Bettencourt L. M., Lobo, Strumsky, & B. West, 2010).
- Todas estas ventajas incrementarían la sostenibilidad global de las empresas, generando menor gasto de recursos para las ciudades y la sociedad; y por lo tanto mayor sostenibilidad medio ambiental a la vez que se genera una mejor calidad de vida.

CAPÍTULO 2

Base de datos y manejo de la información.

2.1 Sobre la base de datos

El Instituto nacional de estadísticas y censos (INEC), en su página indica que desde el año 1955 se lleva a cabo el estudio del sector industrial en el Ecuador, el mismo que ha pasado por varias transformaciones entre las que destacan la inclusión de la terminología utilizada en la Clasificación industrial internacional uniforme (CIIU) realizada en el año de 1966 casi cuatro décadas después el cambio de unidad de moneda del sucre al dólar (INEC, 2015). Desde 1980 la encuesta se dividió en dos tomos debido a los resultados del censo económico de 1980, en el primero se describen las cifras generales de la operación de las empresas y en el segundo consta de una descripción detallada de los productos producidos por cada una de ellas (INEC, 2015). Para los fines de este estudio, el tomo de interés es el primero, puesto que se buscan relaciones globales en la dinámica de la empresa, más allá del producto específico que se genera.

Para estos estudios se toman en cuenta las empresas que tengan más de 5 personas al momento de levantar la información y actualmente en la página web del INEC, se encuentran disponibles para el público de forma gratuita los datos de la encuesta desde el 2007 hasta el 2014; las variables analizadas en este último periodo son (INEC, 2015):

- Personal ocupado
- Remuneraciones
- Producción total
- Venta de artículos sin transformación
- Consumo intermedio
- Valor agregado
- Combustibles y Lubricantes utilizados
- Formación de capital fijo
- Activos fijos
- Existencias

Estas 10 variables se dividen en 235 campos que se suman a 9 campos descriptivos, para llegar a un total de 244 campos en toda la encuesta.

En cuanto a los registros, la encuesta cuenta con 1345 registros en total⁵, 35 registros corresponden a empresas mineras, que al no ser consideradas para este análisis nos dejan un total de 1310 registros para el estudio.

2.1.2 Fiabilidad de la encuesta

El INEC consideró una muestra de 1345 empresas de un universo de 11.056, que representan todas las empresas con más de 5 empleados del país, según el Directorio de Empresas 2014 (INEC, 2015). Considerando que de un universo de esta magnitud, una muestra del 99% de fiabilidad representa 628 establecimientos⁶, consideramos que el tamaño de la muestra es adecuado.

En cuanto a la fiabilidad de los datos, el INEC cuenta con un plan de validación que incluye las instrucciones de los encuestadores, del personal digitador, además de un muy detallado manual de validación para cada uno de los puntos de la encuesta (INEC, 2015), por lo que se considera que la encuesta cuenta de una alta fiabilidad en la información que registra.

2.2 Depuración de la base de datos

Con el fin de realizar el análisis es necesario validar varios campos de la base de datos original. Para esto se trabajó en dos sentidos: Depuración de las variables y depuración de los valores dentro de dichas variables.

⁵ Según el documento la síntesis metodológica expedida por el INEC el número total de registros es de 1385, sin embargo en la base de datos real existen tan solo 1345 y por lo tanto es este último valor el que se utilizará para cualquier mención en este documento.

⁶ Con una desviación estándar del 50% y un margen de error del 5%.

2.2.1 Depuración de las variables

Con el fin de seguir los parámetros establecidos en el estudio de West, donde el tamaño de ciudades es claramente definido por el número de habitantes de la misma, el primer paso para la validación de los campos consistió en distinguir aquellos que son considerados variables de tamaño de aquellos que serían las variables explicadas.

Según la literatura, el tamaño puede definirse de varias maneras, desde el número de personal, hasta impuestos pagados, activos fijos o producción (Campos, 2010); lo cual genera una gran variedad de parámetros sobre los que este estudio puede definir tamaño. Con el fin de no omitir ningún posible campo dentro de esta investigación se utilizaron como variables independientes (eje X) a todos los campos contenidos en la tabla que describen valores de tamaño, según Campos:

- Ventas o cifras de negocios.
- Fondos propios.
- Activos totales netos.
- Número de empleados.
- Valor añadido.
- Volumen de producción
- Exportaciones e importaciones.

2.2.2 Depuración de valores

Debido a que el análisis requirió el uso de datos logarítmicos, los valores originales tienen dos limitaciones básicas:

- Valores negativos: Debido a que no es posible calcular logaritmos de números negativos, aquellos campos que presentaron este tipo de valores fueron divididos en dos variables distintas; la primera contiene los valores positivos originales, y la segunda los valores negativos originales multiplicados por -1, de modo que pasan a ser valores positivos. La nomenclatura de la nueva variable creada se mantuvo igual a la original añadiendo a su derecha el término “(-)” para explicar

que contiene valores que deben ser interpretados como negativos; por ejemplo, la variable “Valor Agregado”, que contiene números negativos, se dividió en “Valor Agregado” y “Valor Agregado (-)”.

Con el fin de evitar sesgos, los valores en 0 de la variable original se mantuvieron para las dos variables resultantes.

- Valores en 0: Dado a que tampoco es posible calcular logaritmos sobre 0, se sumó 1 a todos los valores dentro de aquellas variables que presentaban este valor, de modo que los valores en 0 desaparecen a la vez que se respeta la proporción entre los valores incluidos en la variable.

2.3. Manejo estadístico de la información

Según los objetivos específicos de este estudio, el análisis estadístico se identificaron aquellos campos que demuestran escalabilidad fractal en base a una comparación de la totalidad de los campos, en grupos de dos a la vez (Una variable explicativa “X” y una variable explicada “Y”), utilizando la misma metodología propuesta en los estudios sobre la escalabilidad de ciudades, es decir:

- Se realizó una regresión lineal logarítmica en base a mínimos cuadrados ordinarios.
- En los resultados finales se comprobó que el valor r^2 resultante de la regresión lineal sea igual o superior a 0,95 para garantizar la fiabilidad de los datos y comprobar la hipótesis.
- Con el fin de que las regresiones no presenten Heterocedasticidad, se realizó el test de White que para este caso se compara con un chi cuadrado de 95% de validez y dos grados de libertad.
- De ser correcta la hipótesis se compararían diferentes modelos de escalabilidad para identificar relaciones entre ellos y responder a la hipótesis.

2.4. Sobre la aplicación informática

La aplicación informática fue diseñada en Excel por la facilidad que provee para el análisis de datos por medio de tablas. El proceso de análisis que siguió la aplicación fue el siguiente:

1. Los datos están divididos en dos tablas con los datos fuente, la primera contiene las variables de tamaño (ejeX) y la segunda contiene las variables explicadas (EjeY). Una tercera tabla está reservada para ser la base de datos de resultados.
2. La aplicación aisló la primera de las variables de tamaño (X_1) y la primera variable explicada (Y_1) y realiza el siguiente proceso:
 - Validó la existencia mínima de datos en ambas variables para la comparación.
 - Eliminó aquellos registros donde una de las variables están en blanco para evitar la comparación con valores nulos.
3. A continuación generó datos de estadística descriptiva de las dos variables comparadas. De este modo pueden ser consultados posteriormente de ser necesario. Los datos generados son.
 - Nombres de las Variables X y Y comparadas
 - Número de casos válidos
 - Número de valores en cero de X y Y
 - Promedios de X y Y
 - Mediana de X y Y
 - Moda de X y Y
 - Desviación estándar de X y Y
4. Con los logaritmos de los datos válidos se realizó el cálculo de la regresión lineal con lo que se obtuvieron los valores de
 - B_0
 - B_1
 - r^2

Con esta información se calcularon los valores de C (constante), β (dimensión fractal).

5. Con los valores de B_0 y B_1 se calcularon los residuos y se realizó la prueba de White. Esto generó los siguientes valores que fueron registrados en la base de resultados:
 - r^2 de la prueba de White
 - Valor resultado de la prueba de White
 - Valor chi cuadrado derecho de la prueba de White
6. Todos los valores generados fueron almacenados en la base de datos de resultados.
7. Se generó un gráfico estadístico con la regresión de las dos variables analizadas y se almacenó en una base separada.
8. Se repitió el proceso de X_1 con la siguiente variable de Y (Y_2) hasta completar Y_n
9. Se repite el proceso de X hasta completar X_n

Al final la base de datos de resultados registró 35.985 regresiones con sus respectivos datos. Un gráfico del proceso de la aplicación puede ser encontrado en el anexo 01.

2.4.1 Validez de la aplicación informática

Con el fin de garantizar la validez de la aplicación se realizó una prueba beta donde se calcularon 20 regresiones con datos ficticios y se compraron los resultados con valores obtenidos de la aplicación manual a través del programa estadístico SPSS, obteniendo desviaciones entre ambos resultados menores a 0,000001; siendo esta diferencia provocada porque la aplicación diseñada para el estudio proporciona mayor número de decimales que los resultados de SPSS.

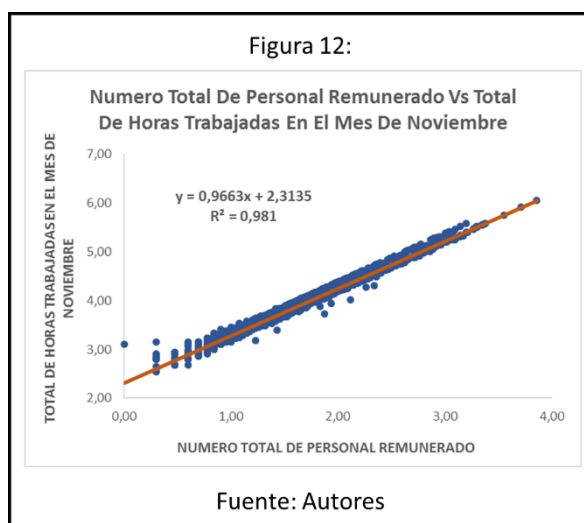
CAPÍTULO 3

Análisis de Resultados

3.1 Procesamiento de la información:

La aplicación diseñada realizó un total de 35.985 regresiones en un tiempo total de 20 horas; del total de resultados sólo 4 regresiones cumplen con los criterios estadísticos establecidos para este estudio, es decir, tienen un r^2 mayor al 95% y no presentan heterocedasticidad. A continuación se presentan los resultados obtenidos, junto con la definición de cada variable, según el diseño de investigación de la fuente (INEC):

a. Personal remunerado y horas trabajadas



Definiciones:

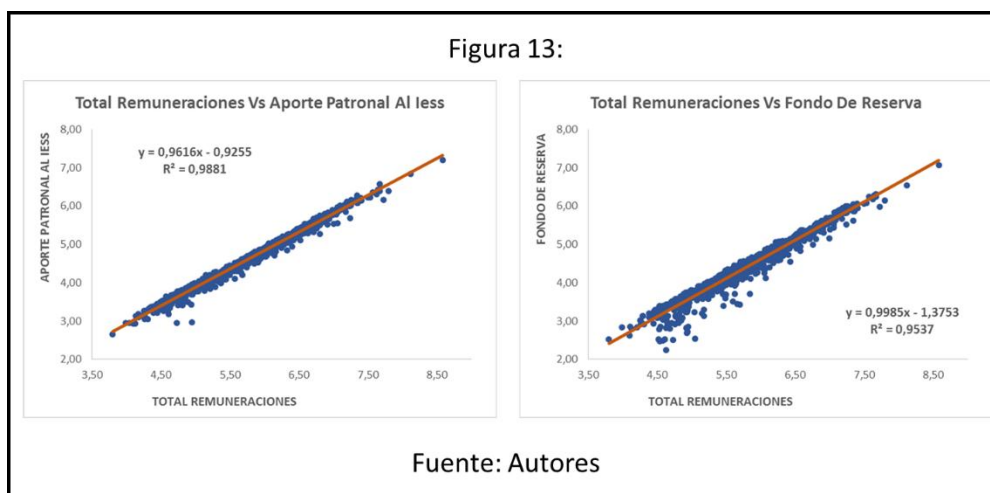
Número total de personal remunerado: Se refiere al número total de personal remunerado que trabajan para el establecimiento de manufactura en el año investigado.

Total de horas trabajadas en el mes de noviembre: Comprende el número total de horas normales trabajadas en el mes, tomando como referencia para la investigación el mes de Noviembre.

Descripción:

Como es natural, la relación entre las horas trabajadas y el personal ocupado es bastante fuerte. Sin embargo es interesante notar que el modelo de crecimiento es de tipo sub lineal ($\beta=0,9663$), cuando se esperaría un crecimiento lineal. Sin embargo, este fenómeno puede explicarse fácilmente por el hecho de que mientras más grande es la empresa, se dan más casos de personal contratado a tiempo parcial (medio tiempo), personal en periodo de maternidad, lactancia, con permisos médicos prolongados; de hecho, según un estudio realizado por la asociación de pequeñas empresas, determinó que el ausentismo⁷ en empresas de menos de 50 empleados es del 2,06% mientras que en empresas con más de 500 personas este número se incrementa al 3,39% (Small Firms Association, 2015). Esta diferencia puede explicar el valor β encontrado.

b. Remuneración, aporte patronal y fondos de reserva



Definiciones:

Remuneraciones: Se refiere a todos los pagos realizados por el establecimiento a empleados u obreros, tanto en dinero como en especie; incluye, las contribuciones en favor de éstos a la seguridad social, seguros de vida y otros beneficios análogos.

⁷ En este estudio se considera ausentismo a cualquier interrupción del cronograma de trabajo, ocasionado por enfermedad o cualquier otra causa no planificada por la empresa.

Aporte patronal: Es el valor que por ley, los empleadores están obligados a pagar mensualmente al IESS, en favor de cada uno de sus trabajadores y cuyo valor es el 11,15% del sueldo o salario nominal.

Fondos de reserva: Todo empleador tiene la obligación de depositar en el IESS, en favor de cada uno de sus trabajadores que estén a su servicio por más de un año el fondo de reserva que equivale a la doceava parte de las remuneraciones percibidas por el trabajador en el año al que corresponde dicho fondo.

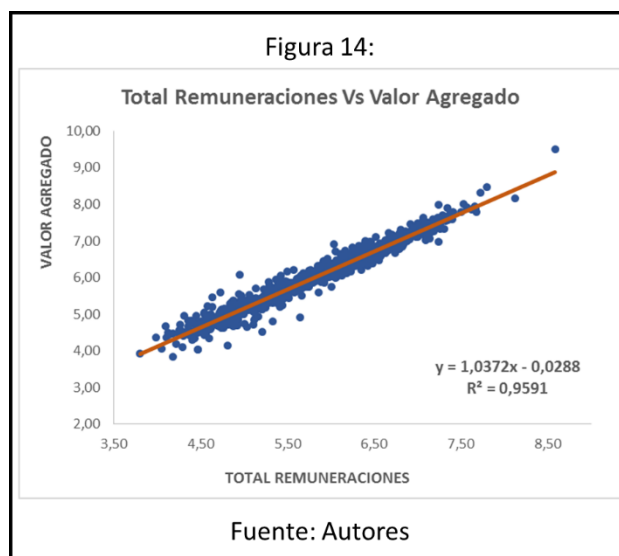
Descripción:

Dentro de los resultados también se obtuvieron regresiones que se desprenden de la ley laboral vigente en el país, en específico con el régimen de impuestos sobre el salario del personal, (fondos de reserva y aporte patronal). Como es de esperarse, en ambos casos las regresiones son altamente coherentes, siendo la comparación Total Remuneraciones/Fondos de reserva de crecimiento casi lineal ($\beta=0,998$) y el aporte patronal se aprecia un crecimiento ligeramente sub lineal ($\beta=0,9616$).

Los resultados del primer caso, son fácilmente explicables en base a la ley del Ecuador, que exige el pago de los fondos de reserva a partir del primer año de labores. Considerando que la rotación es menor en pequeñas empresas, cuando se las compara con las grandes (Halbesleben & Tolbert, 2014), y que esto a su vez significa que a mayor es la empresa, proporcionalmente menos personas reciben este beneficio, es natural encontrarnos con una tendencia sub lineal, como la observada.

Sin embargo, en el caso del aporte patronal, no existen justificaciones legales o técnicas para la tendencia sub lineal observada, al contrario, se puede encontrar su causa en prácticas negativas de las empresas que no emiten el pago del aporte patronal o lo hacen utilizando para su cálculo salarios menores, en lugar del salario real percibido por el empleado (El tiempo, 2008), motivos por los cuales hasta el 2015 (un año después de los datos utilizados en este estudio) aún se debían 350 millones de dólares de este rubro al IESS de años anteriores (La Hora, 2015).

c. Total Remuneraciones Vs Valor Agregado



Definiciones:

Remuneraciones: Se refiere a todos los pagos realizados por el establecimiento a empleados u obreros, tanto en dinero como en especie; incluye, las contribuciones en favor de éstos a la seguridad social, seguros de vida y otros beneficios análogos.

Valor Agregado: Es la diferencia entre la Producción Total y el Consumo Intermedio, que se obtiene de la información de las empresas.

Descripción:

Por último se aprecia que existe una alta relación entre las remuneraciones y el valor agregado de $\beta=1,0372$. La naturaleza de estos resultados es de esperarse, puesto que la mano de obra es fundamental para la transformación del producto y la generación de rendimientos de escala, que a su vez tiene un importante impacto en el valor agregado (Cobb & Douglas, 1928).

Esto se comprueba si utilizamos la función de producción de Loob-Douglas que evalúa la eficiencia de economías a escala, donde obtenemos un valor r^2 de 0,966 y un factor de $\beta=1,028$ y es decir apenas una centésima menor a la relación β obtenida en la relación Sueldos/Valor agregado.

En resumen, como se puede apreciar en la sección anterior los resultados obtenidos representan relaciones causales obvias, por ser derivadas de leyes, políticas o métodos de cálculo pre establecidos y generalizadas para toda la población analizada, y que poco tienen que ver con la dinámica de escalabilidad fractal que se busca en este estudio, por lo que se concluye que no es posible descartar la hipótesis nula en base a este estudio.

Con el fin de generar futuras investigaciones que aborden a profundidad este fenómeno, a continuación se presentan diferentes circunstancias que, según los autores de este estudio, están relacionadas a los resultados obtenidos.

3.2 Discusión:

Considerando que los resultados encontrados en el presente análisis no se alinean con los hallazgos descritos en la literatura sobre la escalabilidad fractal en las ciudades, los autores consideran que existen tres posibles explicaciones para este fenómeno, las cuales son descritas a continuación de tal modo que en primer lugar se explica la línea de pensamiento que lleva cada idea a ser considerada una posible causa de los resultados hallados en este estudio y luego se realiza un análisis para sustentar la validez de cada argumento.

3.2.1 Transversalidad entre ciudades:

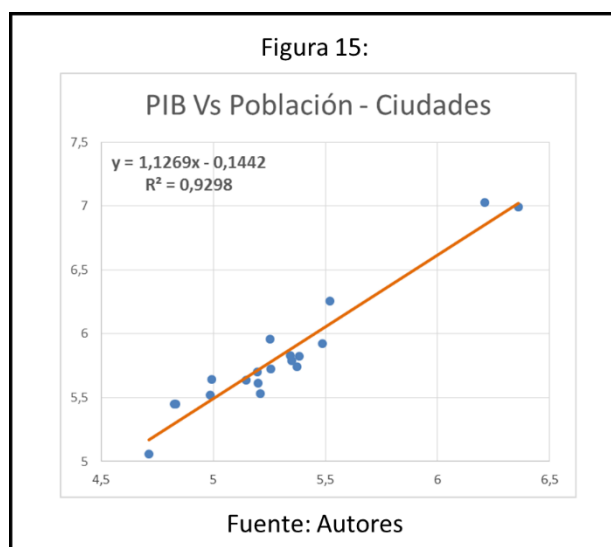
La primera posible causa de que la hipótesis no pueda comprobarse consiste en la aplicabilidad de la teoría base a la realidad ecuatoriana. La literatura en la que se basa esta investigación asegura que la dimensión de escalabilidad fractal es transversal a todas las ciudades investigadas, independientemente de la región geográfica, cultura, historia entre otras variables específicas de la realidad de cada región estudiada. Sin embargo, en dicho estudio no se especifica qué ciudades fueron utilizadas en la investigación. Esto deja abierta la posibilidad de que los resultados descritos, no sean aplicables a la realidad ecuatoriana, a pesar de que la literatura asegure su transversalidad universal. Considerando esto, se decidió realizar como parte del presente estudio, el mismo análisis

descrito en la literatura; aplicándolo a un grupo de ciudades del país de modo que se pueda constatar la universalidad de la propuesta de Bettencourt.

Dentro de la literatura base, sin embargo, se analizan una serie de variables de las ciudades, desde criminalidad hasta infraestructura. Considerando la naturaleza del presente estudio, se determinó que la variable más relevante a ser considerada es el producto interno bruto, al ser un indicador dependiente de la dinámica productiva de la región.

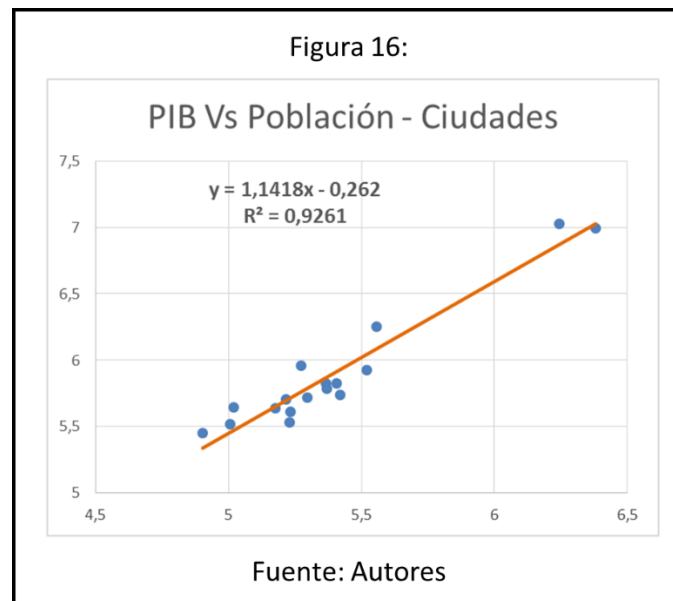
Con este fin se replicó el análisis realizado por Bettencourt (2012) comparando la población de 19 ciudades del país con el su PIB, en dos regresiones distintas:

a. Regresión 1:



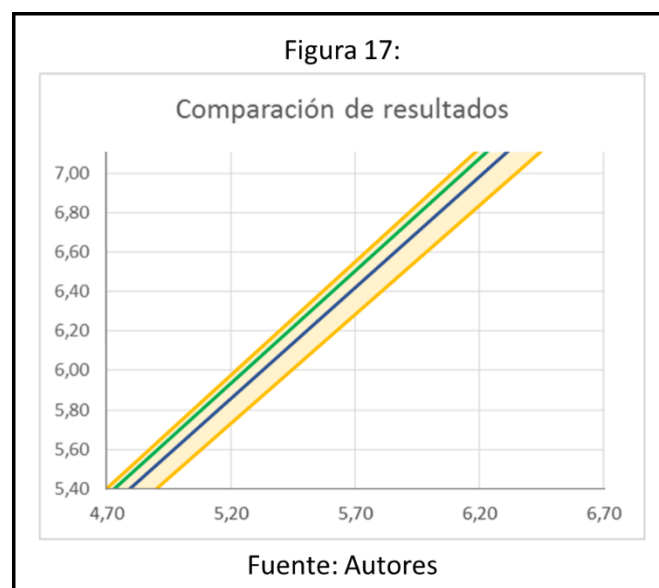
La primera regresión se realizó debido a que utiliza los valores exactos de población al momento del censo del 2010, puesto que esta información es la más fiable en cuanto a número de habitantes por ciudad. Esta variable se comparó con el PIB del 2014, año de los datos utilizados para este estudio.

b. Regresión 2:



La segunda regresión se realizó con datos poblacionales proyectados para el 2014, utilizando los índices de crecimiento poblacional proyectados por el INEC, de modo que, si bien los valores son estimados, el nivel de validez de dichas proyecciones está validado por dicha institución.

Como se puede ver en las regresiones realizadas los valores de β son de 1.1269 y 1.141 respectivamente. Los hallazgos de Bettencourt en el área responden a $\beta = 1.126$ (+/- 0,023) por lo que los resultados de nuestro análisis pueden representarse de la siguiente manera:



En la figura 17 la zona amarilla muestra el rango de $\pm 0,023$ valido, especificado en el estudio de Bettencourt y como puede apreciarse la regresión 1 (línea azul) y la regresión 2 (línea verde), proveen valores dentro del rango de tolerancia del estudio, ambos con un r^2 que demuestra una alta validez.

Tomando en cuenta estos resultados, se considera que la propuesta de la literatura base es altamente congruente con la realidad nacional, por lo que a continuación se describe otra posible causa.

3.2.2 Situación país:

Otra posible respuesta a los resultados obtenidos en el presente estudio, podría ser la situación del país en lo económico, político y social para el año 2014, sin embargo, después de analizar literatura al respecto, no se encontró ningún escenario desalentador o relevante de mencionar que afecte el ámbito de la manufactura.

Al contrario, al bajar el precio del petróleo en este año el sector que mayor aporte económico brindo al país fue el manufacturero con un 11,8% del Producto Interno Bruto (PIB), sobrepasando al de petróleo y minas. Esto demuestra la importancia que tuvo el sector Industrial en la economía Ecuatoriana en el año 2014 y por lo tanto constituyó un elemento fundamental en el desarrollo productivo del país. (EKOS, 2015)

Siendo así, se descarta también la posibilidad de que la situación país haya afectado a la falta de aplicabilidad de la hipótesis del presente estudio.

3.2.3 Transversalidad entre niveles:

Por último, se ha considerado también la posibilidad de que existen dinámicas propias de las empresas que hacen que la aplicación del modelo de escalabilidad no sea aplicable a modelos micro económico, es decir, la dinámica social de la ciudad no es replicable en la empresa.

Si bien, como se explicó al final del primer capítulo de esta tesis, esta conclusión puede parecer contradictoria a simple vista, puesto que las empresas están incluidas en la realidad cultural y social de las ciudades en las que se establecen, y por lo tanto su propia dinámica se debe a la dinámica de ese medio ambiente; hay que considerar que la dinámica en ambos niveles difiere en gran medida cuando se trata de su organicidad. El tamaño de una ciudad está claramente definido por la cantidad de habitantes que esta acoge, y la dinámica de la misma responde a esta variable. Si bien, normalmente se considera que las ciudades son regidas por gobiernos locales que definen sus parámetros legales, infraestructura, etc.; en realidad es el crecimiento poblacional el que guía las decisiones a nivel formal de municipios y otras entidades gubernamentales. Esto significa que en la dinámica ciudad, existe un fenómeno de auto organización social constante que puede ser entendido como un proceso dinámico abierto producto de una multitud de decisiones aleatorias, erráticas y casuales, a lo largo de periodos muy dilatados de tiempo.

Pasa lo contrario en las empresas de manufactura, las mismas son creadas con la finalidad de transformar materia prima en productos elaborados de manera masiva. Para esto, su desarrollo se presenta de manera planificada, organizada y controlada. Los accionistas y gerentes son quienes definen el comportamiento de la misma, y si bien se deben también a factores intervinientes del entorno como regulaciones gubernamentales, avances en tecnología, etc., la dinámica de empresas es en última consecuencia el resultado de la decisión de quienes la manejan.

Por otro lado, pese a que en el campo de Manufactura para el Ecuador en el año 2014 no se encontraron resultados que demuestren escalabilidad fractal; es importante señalar que, aunque los casos son contados, existen actualmente empresas que ya aplican modelos de gestión fractal, entre ellas, empresas en Alemania, España, México y una de Manufactura en Corea. Al respecto, el Phd Ernesto Teobaldo Gálvez Medina en su tesis doctoral señala

la posibilidad de la aplicación del enfoque fractal en la administración, y presenta la aplicación en el “*Fraunhofer-Institute for Manufacturing Engineering and Automation*” (Alemania), en la que el profesor Warnecke, presidente de la fábrica desarrolló el concepto "Fábrica Fractal", concepto que ofrece una respuesta adecuada a las filosofías de dirección de empresas americanas y japonesas, y se ajusta a las necesidades del ambiente europeo.

Su objetivo fue el desarrollo de empresas adaptables con la metáfora de que las compañías son como organismos vivos con un gran potencial de crecimiento y adaptación. La compañía fractal se define como un grupo de entidades autónomas que comparten el conocimiento, recursos y colaboran para crear productos y servicios. Esta colaboración aumenta al máximo las capacidades y permite, a cada entidad, comprender sus metas específicas, proporcionando las soluciones globales a las necesidades de sus clientes. (MEDINA, 2005)

En resumen, es posible que la dinámica en empresas con filosofías “orgánicas”, como las mencionadas anteriormente, sea mucho más similar a los procesos dinámicos naturales no estructurados de las ciudades y por lo tanto expresen modelos de escalabilidad fractal. Sin embargo, la industria tradicional y específicamente en el Ecuador se basa en procesos estructurados, mecanicistas y reduccionistas. Es esta diferencia la que para los autores puede señalar el porqué de los resultados del presente estudio y lleva a la creación de dos nuevas hipótesis posibles:

1. Las empresas de manufactura no presentan relaciones de escalabilidad fractal debido a que sus métodos son altamente mecanicistas
2. Mientras más flexible u orgánica es una industria (manufactura, comercial, financiera, salud, etc.) más presente se harán los patrones de escalabilidad fractal

Si se diera el caso de que ninguna de estas ideas se compruebe, se podría afirmar con mayor certeza que la dinámica de escalabilidad fractal no se expresa en el contexto organizacional.

3.3 Investigaciones futuras:

Si bien en la discusión se trata el tema de la existencia de empresas con modelos orgánicos de gestión, como se mencionó en el primer capítulo estas iniciativas no cuentan con investigaciones sobre la dimensión fractal como la realizada en el presente estudio, por lo que no se conoce si realmente existen ventajas en cuanto a la escalabilidad. Por este motivo un análisis de esta naturaleza sería de gran utilidad para comparar los resultados obtenidos en esta tesis y los que se desprendan de un grupo de empresas “orgánicas”. Sin embargo esta opción presenta un problema de fondo importante ya que el número de casos de empresas con esta filosofía es bastante reducido, por lo que un análisis de este tipo basado en una muestra fiable no es posible aún.

Sin embargo, ya que las hipótesis resultantes de este estudio tienen base en el concepto de que las empresas de manufactura no presentan relaciones de tipo fractal debido a que su estructura tradicional es de naturaleza mecanicista; se propone, con el fin de verificar la validez de dicha afirmación, replicar este estudio en otros contextos, cada vez más flexibles en base a dos escenarios generales:

Escenario 1: En primer lugar se propone la realización de un estudio de esta naturaleza en industrias cuya dinámica permita mayor flexibilidad y donde la interacción humana sea el mayor insumo. Desde este punto de vista las empresas comerciales y de servicios poseen una flexibilidad mucho mayor y sus productos, muchas veces intangibles, se basan en las relaciones con sus clientes, por lo que según esta hipótesis deberían expresar modelos de escalabilidad fractal en sus indicadores. Si estos resultados son acompañados con una escala en la que se identifiquen diferentes industrias según su grado de flexibilidad, se pueden obtener importantes insumos sobre la dinámica social en las empresas de diferentes tipos.

Escenario 2: Por último, si seguimos la línea lógica de realizar este análisis en organizaciones cada vez más flexibles y adaptables, se propone dar el paso de abandonar la organización legalmente constituida, para realizar un análisis de las dinámicas informales de producción. Actualmente existen estudios sobre la auto-organización productiva que se presenta de manera espontánea gracias al altísimo número de relaciones personales llevadas a cabo en el internet y redes sociales en diferentes circunstancias,

siendo observada más comúnmente después de desastres naturales o actos de terrorismo, pero presentes también en situaciones positivas como festivales, eventos y otros contextos donde se requiere la interacción de personas en grandes números. En dichas circunstancias se puede apreciar que grupos emergentes, sin necesidad de una gestión central de ningún tipo, y con un modelo de organización completamente abierto y donde la autonomía del individuo es total, se generan insumos de alta calidad en cantidades imposibles de alcanzar por instituciones de modelos tradicionales (Shirky, 2008).

Si bien las propuestas antes mencionadas producen resultados intangibles o incluso informales si se les compara con la producción de una empresa de manufactura, la cantidad de casos existentes es mucho mayor a la cantidad de empresas con modelos orgánicos, por lo que un análisis de escalabilidad en este tipo de relaciones productivas puede brindar insumos importantes al momento de establecer si las relaciones fractales son inexistentes en dinámicas productivas en general, sin importar el nivel de flexibilidad de la industria, conclusión que sigue la línea de los resultados del presente estudio, o si estos responden a los métodos mecanicistas de los modelos tradicionales utilizados en la empresa ecuatoriana, mientras que organizaciones más abiertas o automáticas sí se benefician de los aspectos positivos de la escalabilidad fractal.

Bibliografía

- BBC four. (2016). *Order and Disorder: History of Information*.
- Bertalanffy, L. v. (1968). *Teoría General de los Sistemas*. Nueva York: George Braziller.
- Bettencourt, L. M. (2012). *The Origins of Scaling in Cities*. Santa Fe: Santa Fe Institute Working Paper.
- Bettencourt, L. M., Lobo, J., & Strumsky, D. (2004). *Invention in the City: Increasing Returns to Scale in Metropolitan Patenting*. Santa Fe: Santa Fe Institute Working Paper.
- Bettencourt, L. M., Lobo, J., Strumsky, D., & B. West, G. (2010). Urban Scaling and Its Deviations: Revealing the Structure of Wealth, Innovation and Crime across Cities. *Plos ONE*, 1 - 9.
- Bettencourt, L., & West, G. (2010). A unified theory of urban living. *Nature*, 912 - 913.
- Bettencourt, L. M., Lobo, J., Helbing, D., Kühnert, C., & West, G. B. (2007). Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- Bottazzi, G., & Tamagni, F. (2011). Big and fragile: When size does not shield from default. *Applied economics letters*, 1401-1404.
- Campos, E. B. (2010). *Introducción a la Organización de Empresas*. Granada: CENTRO ESTUDIOS FINANCIEROS.
- Chiavenato, I. (1999). *Introducción General a la Teoría Administrativa*. Editorial Mc Graw Hill.
- Clauset, A., Shalizi, C. R., & Newman, M. E. (2009). Power-law distributions in empirical data. *SIAM Review*, 661-703.
- Cobb, C., & Douglas, P. (1928). A Theory of Production. *American Economic Review*, 139-165.
- Cornejo, A. (2002). *Complejidad y Caos: guía para la administración del siglo XXI*. Monterrey: Ediciones Castillo.
- Cox, B. (2015). Six degrees of separation. *BBC two*.
- Daepp, M. I., Hamilton, M. J., West, G. B., & Bettencourt, L. M. (2016). The mortality of companies. *The royal society*, <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2015.0120>.
- David, D. P. (2016, octubre 03). Retrieved from <http://fayolvstaylor.blogspot.com/2012/04/teoria-neoclasica-caracteristicas-y.html>

- de Geus, A. (1997, Abril). *Harvard Business Review*. Retrieved from The Living Company: <https://hbr.org/1997/03/the-living-company>
- Edelman, G. M. (1993). Neural Darwinism: Selection and reentrant signaling in higher brain function. *Neuron*, 115-125.
- EKOS, R. (2015). LA INDUSTRIA EN ECUADOR. *EKOS NEGOCIOS*, 66.
- El tiempo. (2008, Marzo 26). \$1.000 millones en mora patronal al IESS. *El tiempo*, p. Edición virtual.
- Feldman, D. (2015, Septiembre 1). *Introducing fractals*. Retrieved from Clases virtuales Santa Fe Institute: Fractals and Scaling.
- Halbesleben, K. L., & Tolbert, C. M. (2014). Small, local, and loyal: How firm attributes affect workers' organizational commitment. *Local Economy*, 795 - 809.
- Herghiligui, I., Robledo, C., & Kobi, A. (2013). A conceptual framework for environmental decision based on fractal philosophy. *Environmental engineering management journal*, 1095 - 1102.
- INEC. (2010). www.inec.gob.ec. Retrieved from www.ecuadorencifras.com: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-censal-cantonal/>
- INEC. (2015). *Directorio de empresas y establecimientos 2014*. Retrieved from Ecuadorencifras.gob.ec: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/directoriodeempresas/>
- INEC. (2015, 10 06). <http://anda.inec.gob.ec/>. Retrieved from Encuesta de Manufactura y Minería 2012, Tomo I, Tomo II - Materiales Relacionados: http://anda.inec.gob.ec/anda/index.php/catalog/424/related_materials
- INEC. (2015, 10 06). <http://anda.inec.gob.ec/>. Retrieved from Ecuador - Encuesta de Manufactura y Minería 2012, Tomo I, Tomo II: <http://anda.inec.gob.ec/anda/index.php/catalog/424/study-description>
- INEC. (2015). *Síntesis Metodológica Encuesta de Manufactura y Minería*. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
- Jersey, B., & Schwarz, M. (Directors). (2008). *Hunting the Hidden Dimension* [Motion Picture].
- Kleiber, M. (1932). Body size and metabolism. *Hilgardia*, 315 - 353.
- Kolman, B., & Hill, D. (2006). *Algebra Lineal*. Nueva Jersey: Pearson Educación.

- La Hora. (2015, Diciembre 28). Remisión de deudas del IESS, en vigencia. *La Hora*, p. Edición virtual.
- Lasio, V., Caicedo, G., Ordeñana, X., & Izquierdo, E. (2014). Global entrepreneurship monitor. *Graduate School of Management*.
- Lorenz, E. (1962). Deterministic Nonperiodic Flow. *Journal of the atmospheric sciences*.
- Mandelbrot, B. B. (1977). *The fractal Geometry of Nature*. New York: W. H. Freeman and Company.
- Maturana, H., & Varela, F. (2003). *De máquinas y seres vivos. Autopoiesis: La organización de lo vivo*. (Sexta Edición ed.). Buenos Aires: Grupo Editorial Lumen.
- Maturana, H., & Varela, F. (2009). *El árbol del conocimiento* (Décimo novena edición ed.). Santiago de Chile: Universitaria.
- McCabe, T. J. (1976). A complexity Measure. *IEEE transactions on software engineering*, 308 - 320.
- MEDINA, E. T. (2005). "ANÁLISIS FRACTAL DEL MERCADO DE VALORES DE MÉXICO (1978-2004). *Tesis para Obtener el grado de Doctor en Ciencias Administrativas*. México D.F., México. Retrieved noviembre 22, 2016
- Melo, F. A. (2004). *Desarrollo Organizacional Enfoque Integral*. México: Editorial Limusa.
- Montreuil, B., Venkatadri, U., & Rardin, R. L. (1999). Fractal layout organization for job shop environments. *International Journal of Production Research* , 501 - 521.
- Morales, N. Y. (2010). Desarrollo Organizacional. *Ensayos y Artículos, Universidad Regiomontana*, Volumen I.
- Morgan, G. (1996). *Imágenes de la organización*. Mexico DF: Alfaomega.
- Needle, D. (2015). *Business in Context: An Introduction to Business and Its Environment*. Cengage Learning: Boston.
- Orellana, G. (2016, Julio 10). *El mirador político*. Retrieved from Ciudades especializadas: <http://gkillcity.com/articulos/el-mirador-politico/ciudades-especializadas>
- Pérez Madrigal, S. (2009). Gestión del clima organizacional. *Mastes en gestión de Recursos Humanos y Desarrollo Organizacional*. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Perez, J., Jimeno, J., & Cerdá, E. (2004). *Teoría de Juegos*. Madrid: Pearson Education, S.A.

- Petrella, C. (2007). Análisis de la Teoría Burocrática. *Revista Electrónica de la Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Católica de Uruguay*.
- Phelan, S. E. (2001). What is complexity science, really? *Emergence*, 120 - 136.
- Ricart, J. (1988). Una introducción a la teoría de los juegos. *Documento de investigación*, IESE Business School, Universidad de Navarra.
- Rittenberg, L., & Tregarthen, T. (2011). *Principles of Economics*, v. 1.1. New York: Flat World Knowledge.
- Rivas Tovar, L. A. (2009). Evolución de la teoría de la organización. *Universidad & Empresa*.
- Rivas, L. A. (2001). NUEVAS TEORIAS DE LA ORGANIZACION. *Investigación Administrativa*.
- Rivas, L. A. (2009). Evolución de la teoría de la organización.
- Ryu, K., Son, Y., & Jung, M. (2003). Modeling and specificatioons of dynamic agents in fractal manufacturing systems. *Computers in Industry*, 161 - 182.
- Saad, S., & Lassila, A. (2004). Layout design in fractal organizations. *International journal of production research*, 3529 - 3550.
- Santa Fe Institute. (2015, Julio). *Complexity Explorer*. Retrieved from Introduction to Complexity.
- Schrödinger, E. (1983). *¿Qué es la vida?* Barcelona: Tusquets Editores.
- Senge, P. (2011). *La quinta disciplina*. Buenos Aires: Granica.
- Shin, M., Mun, J., & Jung, M. (2009). Self-evolution framework of manufacturing sysetms based on fractal organization. *Computers & Indutrial Engeneering*, 1029 - 1039.
- Shin, M., Mun, J., Lee, K., & Jung, M. (2009). r-FrMS: A relation - driven fractal organisation for distributed manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, 1791 - 1814.
- Shin, M., Ryu, K., & Jung, M. (2012). Reinforcement learning approach to goal-regulation in a self evolutionary manufacturing system. *Expert Systems with Aplications* , 8736 - 8743.
- Shirky, C. (2008). *Here comes everybody: The power of organizing without organizations*. St Ives: Clays Ltd.
- Silva Boggiano, P. (2009). Cambio organizacional. *Magister en dirección de Recursos Humanos y Clima Organizacional*. Cuenca, Azuay, Ecuador.

- Small Firms Association. (2015, Febrero 17). *Absence cost small business over €490 million per annum*. Retrieved from Small Firms Association: <http://www.sfa.ie/Sectors/SFA/SFA.nsf/vPages/News~absence-costs-small-business-over-%E2%82%AC490-million-per-annum-17-02-2015?OpenDocument>
- Stacey, N. (Director). (2010). *The Secret Life of Chaos* [Motion Picture].
- Stumpf, M. P., & Porter, M. A. (2012). Critical Truths About Power Laws. *Science*, 665-666.
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2006). *Administración Básica I - Unidad 4*. Retrieved from <http://fcaenlinea.unam.mx/>: <http://fcaenlinea.unam.mx/2006/1130/docs/unidad4.pdf>
- University of Groningen. (2014). A review of common characteristics of complex systems. In *Decision Making in a Complex and Uncertain World*. Clases en línea: FutureLearn.
- University of Groningen. (2015, 01 25). *Decision making in a complex and uncertain world*. Retrieved from Future Learn: <https://www.futurelearn.com/courses/complexity-and-uncertainty>
- Vi Ngo, T., Mullineux, A. W., & Ly, A. H. (2014). The impact of scale of operation on financial performance in microfinance. *Euroasian Econ Rev*, 177 - 198.
- West, G. (2011). Las sorprendentes matemáticas de las ciudades y las corporaciones. In *TedGlobal*. Edinburgh: Ted Education.
- West, G. B., & Brown, J. H. (2004). Life's Universal Scaling Laws. *physicstoday*, 36-50.
- West, G. B., Brown, J. H., & Enquist, B. J. (1997). A general model for the origin on allometric scaling laws in biology. *Science*, 122 - 126.
- Wiener, N. (1958). *Cibernética y Sociedad*. Buenos Aires: Editorial Sudamericana.
- Wilkins, A. L., & Ouchi, W. G. (1983). Efficient Cultures: Exploring the Relationship Between Culture and Organizational Performance. *Administrative Science Quarterly*, 468-481.