

Artículo de investigación Proyecto 4000000323: "Desarrollar modelos de dinámica de sistemas para los arquetipos sistémicos a través de análisis crítico de hechos históricos en Colombia".
Corporación Universitaria Remington. ❖ Recibido 22.05.2022 ❖ Aceptado versión final 20.11.2022
JEL: B4, B41. ❖ doi: 10.33571/teuken.v13n21a2

Funcionamiento de una pirámide financiera mediante un modelo de dinámica de sistemas

Rubén Darío Echeverri E. – Luz Marina Franco M.

COLOMBIA



Rubén Darío Echeverri Echeverri es economista egresado de la Universidad Nacional de Colombia, Magíster en Dirección Estratégica de la Universidad Internacional Iberoamericana de Puerto Rico y docente de la Corporación Universitaria Remington (Rionegro, Antioquia).

Contacto: echeverub@hotmail.com ORCID: 0000-0001-7260-3773

Luz Marina Franco Montoya es Ingeniera Industrial de la Universidad Católica de Oriente, Colombia. Magíster en Dirección Estratégica, San Juan, Universidad Internacional Iberoamericana de Puerto Rico y Docente investigadora Corporación Universitaria Remington (Rionegro, Antioquia).

Contacto: franluzma@hotmail.com ORCID: 0000-0002-2482-6806

Resumen: las pirámides financieras comúnmente colapsan; la literatura ha empleado varios métodos matemáticos para explicarlo. Este artículo emplea una metodología diferente para explicar el auge y las crisis de las pirámides financieras. La metodología integra dos disciplinas: dinámica de sistemas y un método de análisis de epidemias llamado SIR. El artículo tiene como objetivo general desarrollar un modelo de dinámica de sistemas para determinar el umbral de un esquema piramidal. Se concluye que la disminución de los clientes potenciales y, por ello, la disminución de clientes nuevos que entren al negocio es la principal explicación del colapso de dichas pirámides.

Palabras clave: pirámides financieras, arquetipo, sistémica, dinámica de sistemas.

Operation of a financial pyramid through a system dynamics model

Abstract: Financial pyramids commonly collapse. The literature has employed various mathematical methods to explain that behavior. This article uses a different methodology to explain their rise and crisis. The methodology integrates two disciplines: systems dynamics and an epidemic analysis method called SIR. The article's main objective is to develop a system dynamics model to determine the threshold of a pyramid scheme. The conclusion is that the decrease in potential customers and,

therefore, the decrease in new customers entering the business is the primary explanation for the collapse of these pyramids.

Keywords: Financial pyramids, archetype, systemic, systems dynamics.

Como funciona uma pirâmide financeira através de um modelo de dinâmica de sistema

Resumo: pirâmides financeiras geralmente colapsam; a literatura tem empregado vários métodos matemáticos para explicar esse comportamento. Este artigo usa uma metodologia diferente para explicar a ascensão destes e, em seguida, a sua crise. A metodologia integra duas disciplinas: a dinâmica dos sistemas e um método de análise epidémica chamado SIR. O principal objetivo do artigo é desenvolver um modelo de dinâmica de sistemas para determinar o limite de um esquema de pirâmide. A conclusão é que a diminuição dos potenciais clientes e, por conseguinte, a diminuição de novos clientes que entram no negócio é a principal explicação para o colapso dessas pirâmides.

Palavras-chave: pirâmides financeiras, arquétipo, sistêmica, dinâmica de sistemas.

Introducción

Las pirámides financieras no son otra cosa que procesos de captación ilegal de dinero por parte de algunos particulares. El sistema que opera puede tener diferentes caminos, pero la esencia es la misma: ofrecer rentabilidades por encima de cualquier otra inversión para atraer clientes o inversionistas que desean obtener utilidades rápidas y sin mucho esfuerzo, y quienes, a través del voz a voz, atraen mayor cantidad de clientes y la entrada de nuevos clientes es lo que garantiza el pago de las altas rentabilidades en el período inicial de crecimiento. Los dueños de las pirámides normalmente no invierten dicho dinero en el sector productivo, sino que pagan las rentabilidades ofrecidas con el dinero recaudado. Si en determinado momento no entran más clientes, no habrá forma de pagar los compromisos adquiridos y, a partir de ello, llega el declive del negocio y la pérdida del dinero de los ahorradores.

La historia de las pirámides en el mundo no es nueva. Son ampliamente estudiados los casos de Madoff en la década de los años 60 y Ponzi en la década de los años 20 y que fueron bastante sonadas en la literatura. En Colombia tampoco son nuevos los casos y siguen existiendo hasta el día de hoy (Córdoba, 2008; Díaz, 2014; Fernández-Salineró, 2020; Ramírez, 2014).

Existe una verdad de lógica alrededor del funcionamiento de las pirámides financieras: tarde que temprano toda pirámide debe colapsar. Por el tipo de manejo que se haga de ellas, unas se demoran más que otras, pero todas tienen que desaparecer en algún momento. En vista de ello, existe una cantidad importante de investigadores que

han intentado crear modelos cuantitativos para explicar el momento en que llega el colapso de una pirámide. Existen unos modelos más complejos que otros.

Mayorga-Zambrano (2011) desarrolla un modelo estocástico que describe un esquema piramidal tipo Ponzi y establece un algoritmo computacional para explicar este tipo de esquemas desde el punto de vista general. Por otro lado, Monzó (2008) reclama la necesidad de crear un modelo matemático sencillo que explique el colapso de las pirámides financieras y propone un modelo a través del manejo de variables en hojas de cálculo. El profesor Abadía (2009) propone un modelo matemático muy sencillo para explicar el colapso de las pirámides financieras. El modelo solamente usa relaciones aritméticas y explica muy bien la forma en que nuevos clientes llegan al negocio, luego algunos empiezan a reclamar el dinero y después de un tiempo se pierden los dueños con parte del dinero que logran recaudar.

Haciendo uso de las progresiones geométricas, Caviezel (2011) explica la forma en que se crean los niveles en las estructuras piramidales y también las razones por las cuales los niveles inferiores deben tener mayor cantidad de clientes o participantes para que el sistema funcione y para que forme la estructura de una pirámide.

En la literatura pueden identificarse básicamente dos tipos de estructuras piramidales: las cerradas y las abiertas (Caviezel, 2011; Zhu *et al.*, 2017). Las primeras funcionan por niveles y se desarrollan por el voz a voz con base en la rentabilidad que reciben los primeros inversionistas; y, en la segunda existe un dueño que tiene una posición social y, a través de la confianza que genera y las rentabilidades que promete, lanza al mercado cupones que son comprados por los inversionistas o los clientes. En ambos casos, la entrada de nuevo capital a través de nuevos clientes o inversionistas es la garantía para pagar las rentabilidades generadas y el reembolso de capital en los casos de vencimiento de términos.

Con respecto a la dinámica de sistemas, sólo se ha encontrado una fuente bibliográfica que ha desarrollado un modelo para explicar el funcionamiento y colapso de las pirámides financieras (Prieto y Meriño, 2012); para desarrollar el modelo, los autores plantean un diagrama de influencias en el cual muestran dos bucles de realimentación o dos estructuras: en el primero, se desarrolla el crecimiento teórico del capital o valor acumulado que perciben los clientes y, en el segundo, el crecimiento del capital real. En sentido estricto, lo que se muestra es que los clientes creen que el capital está creciendo en forma exponencial (capital teórico), mientras el segundo bucle muestra la realidad y es la disminución exponencial del capital real, que no es percibido por los clientes.

El modelo de dinámica de sistemas propuesto por Prieto y Meriño (2012) se desarrolla con la idea de mostrar de una forma más sencilla el modelo de Monzó (2008), para lo cual suprime algunas variables que considera innecesarias, pero el resultado sigue siendo muy complejo para la comprensión de la mayoría del público.

A través de la economía del comportamiento, Corredor (2020) hizo una investigación experimental en la cual se demuestra que muchas personas están dispuestas a invertir en este tipo de negocios, a pesar de tener conocimientos sobre el

funcionamiento de estos y las experiencias negativas que han tenido familiares o amigos cercanos.

En relación con el colapso de las pirámides financieras, entre los teóricos existen diferentes formas de denominación y de formas de cálculo. Algunos hablan del punto de saturación (Caviezel, 2011), y otros hablan del umbral (Zhu *et al.*, 2017) que viene a ser el punto en el cual la pirámide entra en crisis porque no se cuenta con los recursos para pagar los intereses y la devolución de los capitales que algunos clientes reclaman.

En la metodología propuesta en este artículo se muestra que el umbral o la saturación de las pirámides financieras se alcanza cuando disminuyen los nuevos clientes por período, lo que se hará a través de un modelo de simulación en el cual se integra la metodología de la dinámica de sistemas y el modelo SIR.

Metodología

El método planteado en este artículo es la dinámica de sistemas y la metodología SIR. Con la dinámica de sistemas es posible convertir el arquetipo de límites de crecimiento (Senge, 1999) en una estructura propia de la dinámica de sistemas: el crecimiento sigmoideal o el crecimiento en S o el crecimiento logístico (Forrester, 1961). A través de una estructura de segundo orden como el crecimiento en S, se desarrolla un diagrama de influencias que explica las relaciones de las variables en un sistema llamado pirámide financiera, luego se propone un diagrama de acopio y flujo con el cual se hace una simulación para explicar el comportamiento de dicho sistema hasta llegar al colapso.

El modelo SIR es una metodología creada por Kermack y McKendrick en 1972 (Barroso, 2020; Delgado, 2017) para explicar la propagación de un virus o una enfermedad en una población. Este modelo trabaja tres variables fundamentales: Sanos o Susceptibles (S), Infectados (I) y Recuperados (R). La mayoría de los modelos propuestos describen la forma en que una población de una región se infecta y se pasa de sanos a infectados y de infectados a recuperados.

Al hacer una analogía con la propagación de un virus, en este artículo se describe la propagación de una pirámide para explicar su comportamiento. Existe una población susceptible de depositar los ahorros en una captadora ilegal de fondos (clientes susceptibles), y es inducida por el ofrecimiento de altas, fáciles y rápidas rentabilidades que pasan a la población enferma (clientes arriesgados) cuando esta deposita los dineros en dicha captadora. En el modelo propuesto, no se consideran los recuperados porque se supone que todos los clientes susceptibles o población potencial pasan a clientes arriesgados o inversionistas y tampoco se supone la reinversión por parte de algunos clientes.

Resultados

Normalmente los modelos de dinámica de sistemas básicos se elaboran siguiendo cuatro pasos: primero, se describe el problema a resolver; segundo, se

definen las variables involucradas —y su relación— expresadas mediante el diagrama de influencias; en tercer lugar, se elabora un diagrama de acopio y flujo que permita, en la última parte, la simulación del modelo. Al seguir la metodología propuesta por la dinámica de sistemas, el problema que se quiere resolver con este artículo es la elaboración de un modelo de dinámica de sistemas que explique el colapso inexorable de las pirámides financieras como un método alternativo a las otras metodologías matemáticas existentes.

En la segunda parte de la metodología de la dinámica de sistemas, se plantean las variables y la relación entre estas, lo que se hace normalmente usando los llamados arquetipos del pensamiento sistémico y denominados por la dinámica de sistemas como sistemas de primer y segundo orden. La Figura 1 describe un diagrama de influencias, en el cual se determinan las variables que definen el problema, así como la relación entre cada una de las variables.

El arquetipo que mejor describe la situación descrita con las pirámides financieras es el arquetipo de auge y crisis. La mejor descripción que se tiene de este arquetipo es la realizada por Schaffernicht (2006), quien hace una comparación entre el espacio potencial y un espacio ocupado; el espacio potencial estaría configurado en este caso por los clientes susceptibles o potenciales inversionistas, y el espacio ocupado sería la población arriesgada o los inversionistas actuales. Lo que describe este arquetipo es una situación en la que existe un crecimiento exponencial de algún sistema y, con el tiempo, el sistema se destruye. Ejemplos de ellos son: un nuevo producto en el mercado en el cual, al principio, las ventas van a crecer a ritmos altos, pero llega un momento en que se presenta una saturación del mercado; o la llegada de una especie animal o vegetal a un campo con abundante alimento, y se presenta una situación de crecimiento acelerado, pero con el tiempo el alimento escasea y llega el derrumbe del sistema por muerte o por emigración. En el caso concreto de las pirámides financieras, se presenta al principio un auge importante de la misma porque van aumentando los inversionistas a medida que se muestra que las rentabilidades rápidas, altas y sin esfuerzo son posibles. Pero tarde que temprano llega la crisis por saturación de clientes, esto es, llega un momento en que la llegada de nuevos clientes va disminuyendo y, por lo tanto, el negocio entra en crisis.

Figura 1. Diagrama de influencias de la población como clientes de las pirámides



Fuente: elaboración propia.

Para explicar el modelo de auge y crisis del negocio de las pirámides financieras se ha recurrido aquí al modelo SIR utilizado para explicar el auge y caída de la propagación de un virus. Dicho modelo aplicado al caso de la pirámide financiera se puede observar en el diagrama causal de Figura 1; en esta, se pueden identificar tres (3) bucles de realimentación: uno positivo y dos negativos. En la Tabla 1 se puede consultar la definición de cada una de las variables que se usan en el diagrama causal de la Figura 1.

Tabla 1. Definición de variables de propagación de un virus y propagación de una pirámide financiera

Variable	Definición	Variable	Definición
Población sana o susceptible	Número de personas susceptibles de contraer la enfermedad o personas sanas	Cientes susceptibles o inversiones potenciales	Número de personas susceptibles arriesgar dinero en una pirámide (clientes potenciales de las pirámides)
Población enferma	Número de personas que han contraído la enfermedad	Cientes arriesgados o inversiones	Todos aquellos que han invertido dinero en la pirámide
Incidencia	Nuevos casos de personas enfermas por período	Arriesgados o nuevos inversionistas	Nuevas personas por período que han invertido en las pirámides
Prevalencia	Proporción personas enfermas sobre la población total	Proporción de arriesgados	Proporción entre clientes arriesgados con respecto a los clientes totales
Tasa de contagio	Coefficiente de transmisión de la enfermedad. Depende de dos factores: tasa de contacto entre personas susceptibles y la probabilidad de transmisión de la enfermedad a partir del contacto	Tasa de riesgo	Coefficiente de transmisión del riesgo. Depende de dos factores: la tasa de contacto entre personas susceptibles y la probabilidad de transmisión del riesgo a partir del contacto con otra persona que invirtió en una pirámide
Tasa de incidencia	Cociente entre los nuevos casos de personas enfermas y la población total	Tasa de crecimiento de arriesgados	Cociente entre los nuevos casos por período y los clientes totales
Población inicial	Para que haya infección como mínimo debe aparecer un caso	Cientes iniciales	Normalmente las pirámides empiezan con un determinado número de personas que, para el ejercicio, es de cinco

Fuente: elaboración propia.

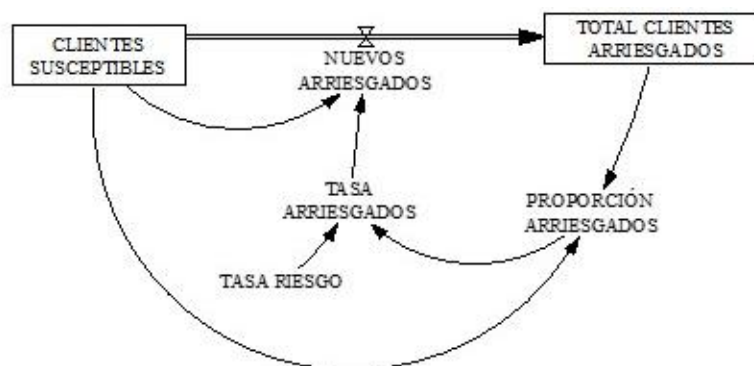
Uno de los bucles está formado entre los clientes susceptibles —o *clientes potenciales* o *inversionistas potenciales*— y los arriesgados o inversionistas o participantes, cuya relación forma un ciclo negativo. Ya se ha mencionado que los clientes susceptibles o clientes potenciales son la población total susceptible de convertirse en participantes de una pirámide financiera. Por su parte, los clientes arriesgados son los clientes que ya son parte de la pirámide financiera. En la Figura 1, la flecha que va de los clientes susceptibles hacia los arriesgados con signo positivo indica que la cantidad de clientes que se arriesgan será mayor en la medida en que la cantidad de clientes susceptibles sea más alta. Pero también existe una relación negativa entre los arriesgados y clientes susceptibles de tal modo que, si los arriesgados aumentan, disminuyen los clientes susceptibles. Una relación positiva con otra negativa, en la dinámica de sistemas, produce un bucle negativo.

El bucle de realimentación positiva está formado por la relación entre el total de clientes arriesgados, los nuevos arriesgados, la proporción de arriesgados y la tasa de arriesgados. Todas las relaciones entre estas variables son positivas. Los nuevos arriesgados hacen aumentar el total de arriesgados y, a su vez, estos hacen aumentar la proporción de arriesgados, y si aumenta dicha proporción también aumenta la tasa de arriesgados y, por esta vía, aumenta la cantidad de arriesgados. No sobra recordar que la tasa de contagio es un parámetro, un valor fijo, que siempre hará aumentar la cantidad de arriesgados.

El tercer bucle de realimentación también es negativo y está formado por las relaciones entre los clientes susceptibles, la proporción de arriesgados, la tasa de arriesgados y los arriesgados. En este caso la relación entre arriesgados y clientes susceptibles es la que hace que el bucle sea negativo, toda vez que los arriesgados son nuevos clientes por período que hacen disminuir los clientes susceptibles.

El siguiente paso en la metodología de la dinámica de sistemas es precisamente proponer un diagrama de acopio y flujo, que se elabora a partir del diagrama de influencias, como se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Diagrama de acopio y flujo para el caso de las pirámides



Fuente: elaboración propia.

En el diagrama de acopio y flujo hay dos variables de estado: clientes susceptibles y total de clientes arriesgados. Los clientes susceptibles configuran la población

susceptible de invertir en una pirámide financiera y esta es, al mismo tiempo, la población total de un municipio o de una región determinada. En el modelo, se supone un municipio que tenga una población susceptible de invertir de 10.000 personas mayores de edad; también pueden denominarse como clientes potenciales para un negocio de estas características. Por otra parte, está el total de clientes arriesgados, que equivale a la población que ha hecho una inversión en el negocio de la pirámide financiera. En la Figura 2 se observa una flecha que sale desde clientes susceptibles hacia total de clientes arriesgados, lo que indica que los clientes susceptibles tienden a disminuir y los clientes arriesgados tiende a aumentar. Si la población que invierte en la pirámide aumenta, disminuye la cantidad de personas de ese municipio que nunca han invertido en la pirámide.

Tabla 2. Tipos de variables y ecuaciones

Variable	Tipo de Variable	Ecuación
Cientes susceptibles	Variable estado	Los Clientes iniciales son 10.000. Clientes susceptibles - Arriesgados.
Cientes arriesgados	Variable estado	Total, clientes arriesgados + Arriesgados.
Nuevos Arriesgados	Variable flujo de salida y de entrada	Clientes susceptibles*Tasa arriesgados
Proporción de arriesgados	Variable auxiliar	Total clientes/(Total clientes arriesgados + Clientes susceptibles)
Tasa de riesgo	Parámetro	Valor 0.05 = 5%. Supuesto en el modelo.
Tasa de crecimiento de arriesgados	Variable auxiliar	Proporción arriesgados*Tasa riesgo

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 2 sólo existe una variable flujo que corresponde a los nuevos arriesgados, esto es, la cantidad de personas por período que son convencidas de invertir en la pirámide y, por lo tanto, la flecha sale de los clientes susceptibles y llega a aumentar el total de clientes arriesgados.

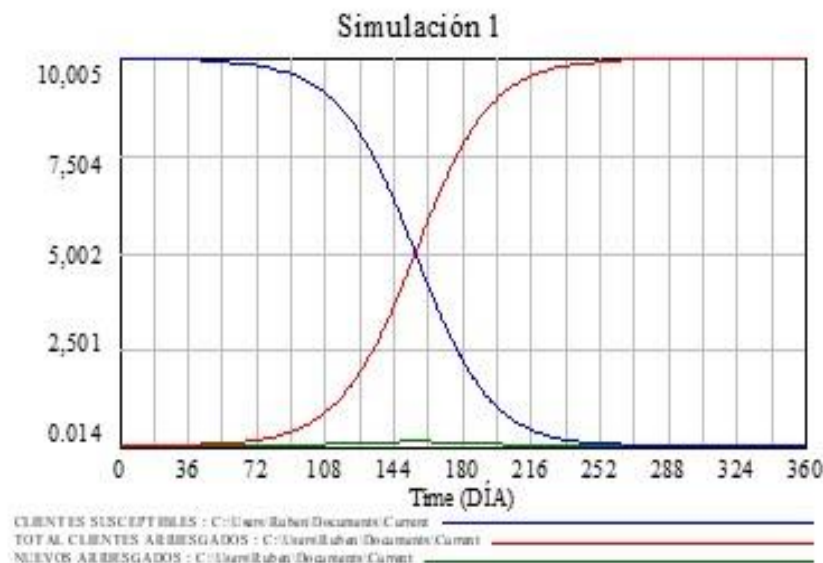
La variable proporción de arriesgados es importante en el modelo; esta es la proporción de personas que han invertido en la pirámide (total clientes arriesgados) en comparación con la cantidad de población que no ha invertido en la pirámide (clientes susceptibles). Su importancia se debe a que hace variar notablemente la tasa de crecimiento de los arriesgados. En la mayoría de los modelos de dinámica de sistemas, las tasas son un parámetro; pero, aquí, la tasa de crecimiento de los arriesgados es variable, lo que es debido a la proporción de arriesgados.

En el diagrama de acopio y flujo sólo falta analizar la tasa de riesgo. En el momento en que una persona que haya invertido en una pirámide recibe las respectivas utilidades prometidas, se convierte en uno de los mejores defensores y, por lo tanto, en un factor publicitario de la inversión en el negocio. La tasa de riesgo es la única variable que se comporta como un parámetro y para este ejercicio inicialmente se supuso del

5%, lo que indica que diariamente en ese porcentaje la población pasa de no invertir a invertir.

Siguiendo un modelo SIR, se han creado las variables respectivas para explicar el comportamiento de una pirámide financiera en un territorio. Para la simulación del modelo, que es el último paso de la metodología de la dinámica de sistemas, se partió de una variable de clientes susceptibles de un municipio cualquiera que tuviera un número de habitantes adultos de 10.000 personas. Esta cantidad de personas se convierte al mismo tiempo en los clientes susceptibles de la pirámide. Con el paso del tiempo y de los buenos comentarios de los inversionistas, la población irá invirtiendo el dinero en la pirámide y, por lo tanto, los clientes susceptibles disminuirán, lo que se puede evidenciar en la Figura 3, al analizar el comportamiento de la línea azul. La simulación se hizo para un tiempo de 360 días.

Figura 3. Simulación del modelo para clientes potenciales o población susceptible y población arriesgada



Fuente: elaboración propia.

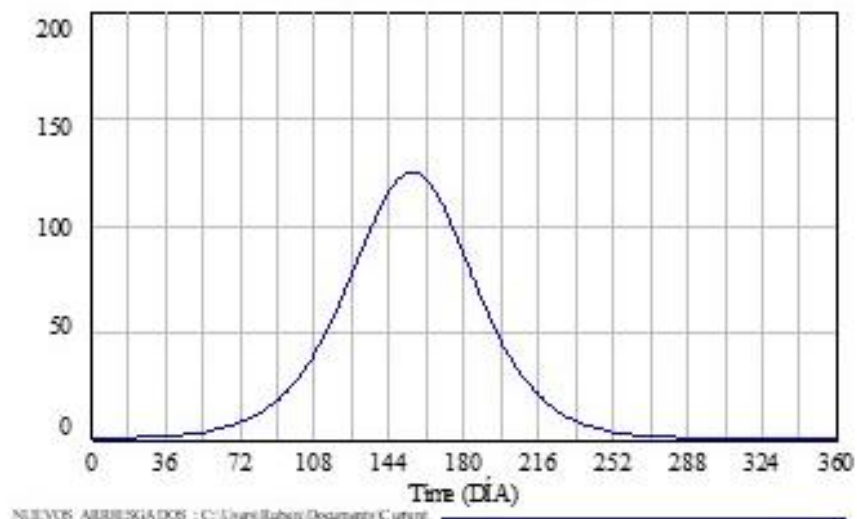
En la Figura 3 se puede observar el comportamiento simulado de las tres variables más importantes para explicar el colapso de una pirámide financiera: clientes susceptibles (línea azul), total de clientes arriesgados (línea roja) y nuevos arriesgados (línea verde). Mientras los clientes susceptibles o potenciales disminuyen con el tiempo, la población arriesgada o total de clientes arriesgados o población enferma, que ha invertido sus ahorros en una pirámide, aumenta con el tiempo. De la Figura 3 también se puede concluir que la población arriesgada se comporta en un sistema en S y que por lo tanto a medida que se acerca al límite de la población potencial, disminuyen las posibilidades de conseguir nuevos clientes que se arriesguen a invertir en dicho negocio.

Al analizar más detalladamente la Figura 3, puede verse que el punto en el que se encuentran las líneas de los clientes susceptibles y el total de clientes arriesgados se

puede considerarse como el punto crítico del sistema o lo que se denomina el umbral de la pirámide financiera. Varias situaciones se pueden poner de presente: por un lado, en el umbral se igualan los clientes susceptibles y el total de clientes arriesgados, el primero con tendencia a la baja y el segundo con tendencia al alza; en segundo lugar, en el umbral se presenta el punto de inflexión del total de clientes arriesgados, toda vez que la tasa de crecimiento empieza su proceso de descenso. Y, en tercer lugar, en el umbral es donde se encuentra el punto máximo de entrada de nuevos arriesgados o inversionistas, lo que se puede apreciar en la línea verde que está en la parte inferior.

El comportamiento de los nuevos arriesgados, en un tipo de negocio de esta naturaleza, se puede observar en la Figura 4. Desde el principio se ha dicho que la sostenibilidad y el crecimiento de un negocio tipo pirámide depende de la cantidad de nuevos clientes que lleguen. En un principio la tasa de crecimiento de entrada de nuevos clientes es alta; pero, a medida que el tiempo avanza, es más difícil conseguir clientes. Hay dos tipos de causas por las cuales es más difícil conseguir nuevos clientes; primero, la cantidad de clientes potenciales se ha reducido y, segundo, cada día el pago de las utilidades a los inversionistas se va atrasando y, por lo tanto, empiezan a surgir desconfianza entre la población. De allí entonces que al principio existe una tasa alta de crecimiento de la población arriesgada, pero al final existe una disminución drástica de dicha tasa, lo que conduce inexorablemente al colapso de la misma.

Figura 4. Comportamiento de la población nueva que invierte en la pirámide (nuevos arriesgados)



Fuente: elaboración propia.

La Figura 4 presenta en resumen la explicación del colapso de las pirámides financieras. Mientras haya nuevos clientes dispuestos a invertir, el crecimiento de la pirámide es notable, pero cuando hay dificultad para conseguir nuevos clientes que son los que van a pagar las utilidades de los primeros inversores, obligatoriamente el negocio se tiene que derrumbar. La mayoría de las veces, los dueños de este tipo de negocios ilícitos calculan el tiempo en el que pueden operar y, al final, se van a quedar

con una parte importante de los recursos que no se entregaron en forma de utilidades. Las utilidades iniciales entregadas son señuelos para atraer nuevos clientes, pero en cuanto hay dificultad para conseguir nuevos clientes, los dueños iniciales desaparecen con una parte importante del capital.

Conclusiones

- ❖ En la literatura existen diferentes métodos para explicar la razón por la cual tarde que temprano las pirámides financieras llegan al colapso. Existen modelos matemáticos sofisticados, así como modelos matemáticos menos refinados. En todos estos se llega a la conclusión de que la entrada de nuevos clientes es la variable clave para explicar el colapso. Los modelos matemáticos han sido muy complejos de entender para muchas de las profesiones que no están acostumbradas a los modelos matemáticos.
- ❖ En la dinámica de sistemas y el pensamiento sistémico se utilizan dos herramientas útiles para el análisis de las pirámides: los bucles de realimentación y la teoría de los arquetipos sistémicos. Aquí se construyó un arquetipo sistémico (el crecimiento en S) para explicar el comportamiento de una pirámide financiera como un sistema. A través de este arquetipo se identifican las variables del sistema, así como las relaciones entre estas.
- ❖ Desde el punto de vista de la metodología SIR, se utilizan dos conceptos claves: población susceptible o clientes potenciales de invertir en una pirámide y población enferma o población arriesgada. Los recuperados no se tienen en cuenta dentro del modelo, pues se asume que son iguales a población arriesgada.
- ❖ Al desarrollar el modelo que aquí se propone, se puede observar claramente que la entrada de nuevos clientes en declive es la explicación del colapso de la pirámide financiera simulada. La metodología que combina la dinámica y el método SIR es una metodología que se puede seguir desarrollando tanto para aplicar en otros contextos y con otras experiencias.
- ❖ El punto de saturación o el umbral de una pirámide financiera se puede determinar a partir de un modelo de dinámica de sistemas y en cuya gráfica confluyen tres situaciones: una, la igualdad entre la variable de estado clientes susceptibles, en proceso de descenso, y la variable de estado clientes arriesgados, en proceso de incremento; dos, el cambio en la tasa de crecimiento de la variable de estado clientes arriesgados; y, tres, el máximo crecimiento en la variable de flujo nuevos arriesgados o nuevos inversionistas por período.

Referencias bibliográficas

Abadía, L. (2009). *Cómo montar una sociedad piramidal. Receta para montar una sociedad piramidal.* La crisis ninja de Leopoldo Abadía.

<http://leopoldoabadia.blogspot.com/2009/01/anexo-2-receta-para-montar-una-sociedad.html>

Barroso, V. (2020). Una breve introducción al modelo SIR aplicado al caso del Covid-19. *ICEI Papers COVID-19*, 12. <https://www.ucm.es/icei/file/iceipapercovid12>

Caviezel, P. (2011, 14, 15 y 16 de septiembre). *La matemática detrás de la estructura piramidal de negocios: una aplicación de progresiones geométricas* (Ponencia). XXVI Jornadas Nacionales de Docentes de Matemática de Facultades de Ciencias Económicas y Afines. Universidad Nacional de Misiones. <https://jnm.eventos.fce.unam.edu.ar/wp-content/uploads/sites/5/2019/11/107.pdf>.

Córdoba, A. (2008). Las pirámides financieras: soporte de una economía atípica. *Tendencias*, IX(2), 87-108. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rtend/article/view/624>

Corredor, D. (2020). *¿Son las populares cadenas una puerta de acceso a las pirámides financieras tipo Ponzi? Un ejercicio experimental desde la economía del comportamiento*. [Trabajo de pregrado, Universidad de La Salle]. Archivo digital. <https://ciencia.lasalle.edu.co/economia/1652>.

Delgado, J. (2017). Dinámica de sistemas aplicada en la epidemiología (Conferencia). *Seminario permanente las matemáticas en la lucha contra las epidemias*. Universidad Complutense de Madrid. <http://www.mat.ucm.es/~aramosol/TextoDeConferencia-JoseAlfonsoDelgado.pdf>

Díaz, L. (2014). El caso DMG: responsabilidad del Estado susceptible de indemnización por acción de grupo. *Derecho y Realidad*, 12(24), 257–278. <https://doi.org/10.19053/16923936.v2.n24.2014.4522>.

Fernández-Salineró, M. (2020). Las estafas piramidales en Colombia: su tratamiento en la Ley 1700 de 2013 y en el Decreto 024 de 2016. *Misión Jurídica*, 13(18), 115-132.

Forrester, J. (1961). *Industrial Dynamics*. The MIT Press.

Mayorga-Zambrano, J. (2011). Un modelo matemático para esquemas piramidales tipo Ponzi. *Revista Emprendedorismo y Estrategia Organizacional*, 1(2), 1-15. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3651/1/R-ESPE-DCEAC-001208.pdf>

Monzó, J. (2008, 21 de diciembre). ¿Por qué colapsan las pirámides financieras? Caso Madoff. *Pensamiento Sistemático*. <http://jmonzo.blogspot.com/2008/12/por-qu-colapsan-las-piramides.html>

Prieto, S. y Meriño, I. (2012). *Un modelo en dinámica de sistemas para observar el comportamiento de pirámides*. <https://es.scribd.com/document/100012657/Un-modelo-en-dinamica-de-sistemas-para-observar-el-comportamiento-en-las-piramides-financieras>.

Ramírez, M. (2014). Legitimidad, complicidad y conspiración: la emergencia de una nueva forma económica en los márgenes del Estado en Colombia. *Antípoda. Revista de Antropología y Arqueología*, (18), 29-59.

Schaffernicht, M. (2006). *Indagación de situaciones dinámicas mediante la Dinámica de sistemas*. *Fundamentos* (Tomo 1). http://www.docentes.fcefa.edu.bo/imorales/wp-content/uploads/sites/9/2013/09/DINAMICA_DE_SISTEMAS.pdf.

Senge, P. (1999). *La quinta disciplina*. Ediciones Granica.

Zhu, A., Fu, P., Zhang, Q., y Chen, Z. (2017). Ponzi scheme diffusion in complex networks. *Physical A: Statistical Mechanics and its Applications*, 479, 128-136. 10.1016/j.physa.2017.03.015

Para citar
este artículo:

Echeverri R.D. y **Franco L.M.** (2022). Funcionamiento de una pirámide financiera mediante un modelo de dinámica de sistemas. *Teuken Bidikay*, 13(21) doi: 10.33571/teuken.v13n21a2