

**ESTUDIO DINÁMICO SISTÉMICO DE LA ESPIRAL DE LA MUERTE (ADOPCIÓN  
NO REGULADA DE RENOVABLES) SOBRE EL NÚMERO Y CONTRIBUCIÓN  
FINANCIERA DE USUARIOS A LA RED ELÉCTRICA COLOMBIANA.**

**Autor: Sergio Andrés Benavides Araque**

**Director: PhD. Jorge Andrick Parra Valencia**

**Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB)**

**Facultad de Ingeniería**

**Programa de ingeniería de sistemas**

**Trabajo de grado II**

**Dinámica de sistemas**

**Bucaramanga, Santander**

**Noviembre del 2021**

## Resumen

La aparición de nuevas tecnologías ha representado un reto para las fuentes tradicionales de producción de energía ya que debido a sus menores costos tanto económicos como ecológicos. La literatura muestra desde dos puntos de vista lo que puede pasar si cualquiera de estas dos fuentes (la tradicional o la renovable) llegan a crecer mucho más que la otra, esto es, una desaparición de una de ellas, también se encuentra quienes defienden que podría existir un balance en la existencia de ambas haciendo que las energías renovables trabajen y se usen con una conexión a la red, permitiéndole entrar al mercado de energía en Colombia.

Palabras clave: Energía renovable, espiral de la muerte, red eléctrica Colombiana, mercado de energía.

## Abstract

The emergence of new technologies has represented a challenge for traditional sources of energy production due to their lower economic and ecological costs. The literature shows from two points of view what can happen if any of these two sources (the traditional or the renewable one) grow much more than the other, that is, a disappearance of one of them, there are also those who defend that there could be a balance in the existence of both making renewable energies work and are used with a connection to the grid, allowing it to enter the energy market in Colombia

Key words: renewable energy, death spiral, Colombian electricity grid, energy market.

# Índice

2

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| <b>Resumen</b>                    | 1  |
| <b>Abstract</b>                   | 1  |
| <b>Índice</b>                     | 2  |
| <b>Lista de figuras</b>           | 2  |
| <b>Introducción</b>               | 3  |
| <b>Planteamiento del problema</b> | 4  |
| <b>Justificación</b>              | 6  |
| <b>Objetivo general</b>           | 6  |
| <b>Objetivos específicos</b>      | 6  |
| <b>Resultados esperados</b>       | 7  |
| <b>Antecedentes</b>               | 7  |
| <b>Estado del arte</b>            | 8  |
| <b>VOSviewer</b>                  | 10 |
| <b>Marco teórico</b>              | 13 |
| <b>Diseño metodológico</b>        | 14 |
| <b>Resultados obtenidos</b>       | 17 |
| <b>Estrategias de mejora</b>      | 20 |
| <b>Cronograma de actividades</b>  | 21 |
| <b>Presupuesto</b>                | 21 |
| <b>Bibliografía</b>               | 23 |

## Lista de figuras

|                                                      |          |
|------------------------------------------------------|----------|
| <b>1. Planteamiento del árbol de problemas .....</b> | <b>5</b> |
|------------------------------------------------------|----------|

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|                                                                                                              | 3  |
| 2. Resultado de la búsqueda bibliográfica por “death spiral”.....                                            | 11 |
| 3. Resultado de búsqueda bibliográfica por “Year” .....                                                      | 12 |
| 4. Resultado de búsqueda bibliográfica por “Country” .....                                                   | 13 |
| 5. Resultado de búsqueda bibliográfica por “Autor” .....                                                     | 13 |
| 6. Metodología con la que se desarrollará el trabajo general.....                                            | 15 |
| 7. Modelo de la hipótesis dinámica.....                                                                      | 16 |
| 8. Modelo de mercado.....                                                                                    | 17 |
| 9. Modelo de la espiral de la muerte.....                                                                    | 18 |
| 10. Gráfico del comportamiento de la tarifa de electricidad en el modelo.....                                | 19 |
| 11. Gráfico de la oferta de energía expresada en megavatio/mes como resultado en el sistema de energía ..... | 19 |
| 12. Gráfico del comportamiento de la demanda de energía en el modelo.....                                    | 20 |
| 13. Cronograma de actividades de cada uno de los objetivos específicos.....                                  | 21 |

## Lista de tablas

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Resultado de búsqueda bibliográfica de trabajos afines al tema propuesto..... | 9  |
| 2. Presupuesto de trabajo.....                                                   | 22 |

## Introducción

La manera en la que actualmente las emergentes tecnologías renovables ingresan al mercado de energía ha hecho que se tenga que tener en cuenta los problemas que pueden ocasionar a las tecnologías tradicionales de generación de energía eléctrica (Castaneda, 2018). La red de energía convencional está determinada por la cantidad de clientes que hagan uso de la misma (Grace W, 2018). Uno de los problemas que plantean las nuevas tecnologías son la autogeneración de energía o la generación privada de energía, dada especialmente por la instalación de paneles solares sobre los tejados de los hogares y/o industrias, el desarrollo de este “problema” da como resultado que se reduzcan los ingresos de la red (Grace W, 2018). Problema el cual no se plantearon antes que surgieran las PV ya que no se podía conocer su alcance

y tampoco se podía tener una visión general de lo que sería en el futuro la red. Se busca regular estos problemas mediante nuevas políticas o adaptaciones de ellas para que exista un balance de coexistencia entre las fuentes de generación tradicional y las fuentes de generación fotovoltaicas o renovables.

## Planteamiento del problema

Para el planteamiento del problema se grafica mediante un árbol de problema (Véase Figura 1) en el cual se encuentra el problema el cual es que los clientes optan por cambiar de sistema interconectado de electricidad a otras fuentes de generación como las fotovoltaicas. Se representan de color verde marino las consecuencias dadas por el problema planteado, en la parte inferior se muestran qué causa ese problema.

A nivel mundial existe una preocupación sobre el cambio que ha tenido el clima en los últimos años por eso se ha puesto la vista sobre alternativas que permitan tener el mismo estilo de vida que siempre se ha llevado pero sin afectar de gran manera nuestro sistema. En la búsqueda de alternativas en el área energética se han encontrado diferentes soluciones para la producción de la misma (Guillen & Abreu, 2016)\_\_\_ pero, haciendo énfasis en la producción de energía a través de sistemas solares fotovoltaicos se encuentran diversos beneficios de este sistema, principalmente el alto desempeño tecnológico a través de producción de sistemas mucho más eficientes (González et al., 2010) también se le presta bastante atención a estos sistemas por el ahorro económico que representa en contraste al sistema convencional.

Los diferentes beneficios que representa esta manera de producción de energía renovable plantea un problema para el sistema de red, ya que al tener una cantidad considerable de usuarios conectados a ésta, el cual pretendan la implementación de fuentes de energía renovable genera incertidumbre ya que al “perder” demasiados usuarios la red puede tener consecuencias como desaparecer debido a que habrá menos demanda y sería insostenible. También el perder usuarios puede ocasionar problemas con los nuevos sistemas implementados (sistemas solares fotovoltaicos) ya que una de las partes más costosas de estos son el *cómo* almacenar la energía

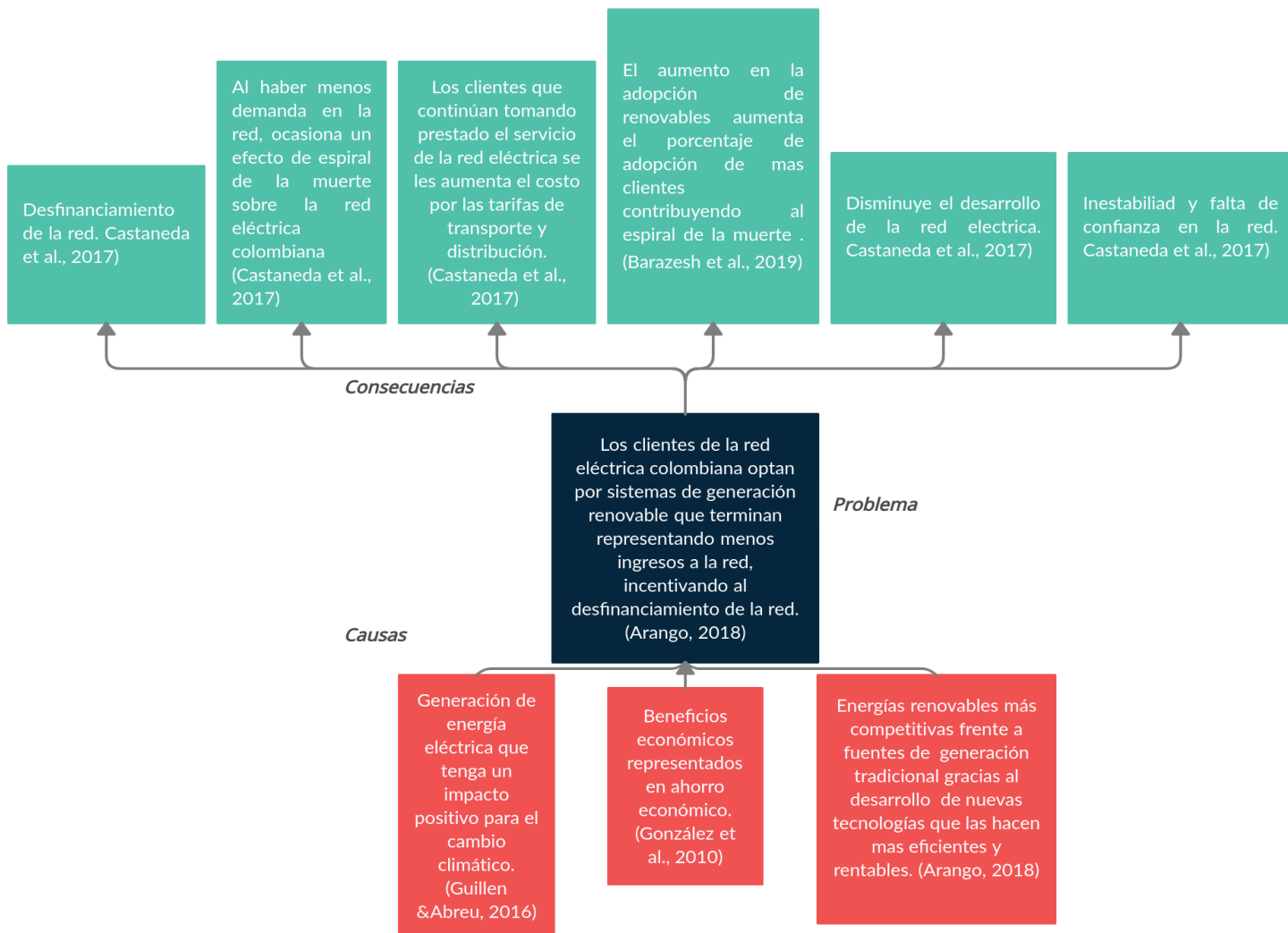


Figura 1. Planteamiento del árbol de problemas

Fuente: elaboración propia

recibida a través de los paneles. Es claro que llegar a niveles de competencia mayores o iguales a los representados a la red tomaría esfuerzo y tiempo ya que el 98% de la demanda eléctrica es atendida por el operador de red sin embargo se están buscando marcos regulatorios que incentiven a los mercados minoristas en el mercado de electricidad. (Arango, 2018) .

## Justificación

La presente investigación se enfocará en el efecto de la espiral de la muerte sobre el sistema energético colombiano producido por una rápida adopción de energías renovables por parte de sus clientes. Se pretende mostrar mediante el modelado y la simulación cuanto afectaría este crecimiento y qué variables tendrían un rol importante para frenar la desaparición de la red eléctrica colombiana y contribuir a un crecimiento controlado de la producción energética a través de fuentes renovables.

## Objetivo general

Estudiar dinámico sistémicamente el efecto de la espiral de la muerte (adopción no regulada de renovables) sobre el número y contribución financiera de usuarios de la red eléctrica Colombiana.

## Objetivos específicos

1. Diseñar la hipótesis dinámica de la situación en el cual se explique el efecto de la espiral de la muerte sobre el número y contribución financiera de usuarios de la red eléctrica colombiana.
2. Diseñar el modelo partiendo de la hipótesis dinámica donde se pueda explicar de manera gráfica el efecto de la espiral de la muerte sobre el número y contribución financiera de usuarios de la red eléctrica colombiana.
3. Simular el modelo incluyendo escenarios reales de manera tal que se pueda representar y explicar el efecto de la espiral de la muerte sobre el número y contribución financiera de usuarios de la red eléctrica colombiana.
4. Analizar posibles estrategias de mejora de los resultados obtenidos con la simulación del modelo mostrando los escenarios reales sobre la espiral del número y la contribución financiera de usuarios de la red eléctrica colombiana.

## Resultados esperados

- ◆ Un diseño de la hipótesis dinámica que represente el efecto de la espiral de la muerte en el sistema planteado.
- ◆ Un diseño del modelo dinámico sistémico donde se represente el fenómeno de la espiral de la muerte del sistema planteado.
- ◆ Una simulación del modelo donde se introduzcan escenarios reales para poder explicar el fenómeno de la espiral de la muerte del sistema planteado.
- ◆ Un análisis escrito sobre posibles estrategias de mejora del modelo realizado.

## Antecedentes

El rápido desarrollo desde el surgimiento de las tecnologías de producción de energías renovables ha permitido en los últimos años a quienes eran solamente consumidores poder tomar un rol diferente que es de *“Prosumers”* (Barazesh et al., 2019) , este desarrollo ha desatado una cantidad considerable de investigaciones y estudios en esta área de las energías renovables , dando lugar al planteamiento de preguntas como: ¿Cuáles son las condiciones que conducen a una espiral de la muerte para los servicios públicos? o, ¿Que puede hacer el regulador y las empresas dedicadas a la comercialización de los servicios públicos para evitar el efecto de la espiral de la muerte? (Castaneda, Jimenez, et al., 2017) . Dadas estas preguntas y tratando de resolver esos planteamientos, se da inicio a este proyecto con conclusiones como: *“es posible que se presente el fenómeno de la espiral de la muerte en los servicios públicos cuando ocurren ciclos viciosos donde el costo de la electricidad PV, la tarifa eléctrica y el porcentaje de adopción de consumidores de PV son variables críticas”*.

En la revisión de la literatura se exponen trabajos de artículos como “Myths and facts of the utility death spiral” de los autores *Mónica Castañeda, Maritza Jimenez, Sebastian Zapata, Carlos J. Franco e Isaac Dyner* presentado en el 2017 haciendo síntesis sobre la espiral de la muerte de los servicios públicos, presentado en un ciclo en donde se explican mediante el modelamiento dinámico-sistémico la variabilidad de: (la tarifa eléctrica)/(el costo de sistemas fotovoltaicos) y permitiendo que la adopción de estas tecnologías en los hogares disminuye la demanda de electricidad a la red poniendo en la tarifa eléctrica cargos extras dando así este ciclo vicioso. Este estudio concluye mediante el modelo de simulación se puede producir el espiral de la muerte de los servicios públicos con un hogar que adopte un panel solar de 2 kW o



más, haciendo que el sistema colapse, ya que la tarifa eléctrica demasiado costosa para los clientes y las empresas sin poder recuperar sus costos pueden quebrar.

Existen además otros estudios sobre también sistemas de generación de energía renovables como “*Assessing security of supply in a largely hydroelectricity-based system: The Colombian case*” de los autores *Sebastian Zapata, Mónica Castañeda, Estefany Garces, Carlos Jaime Franco e Isaac Dynner*, donde presentan métodos para permitir comprender mejor los efectos de los mecanismos de la capacidad en los mercados de electricidad con una alta proporción de energía en este caso por generación de una hidroeléctrica, se muestra utilizando un modelado de dinámica de sistemas aplicado en Colombia. El paper presentado en forma de manuscrito tiene éxito al menos en dos aspectos: 1. muestra los efectos probables de una capacidad en grandes sistemas hidroeléctricos y el segundo es que establece las condiciones bajo las cuales los grandes sistemas hidroeléctricos pueden fallar. (Zapata et al., 2018) .

## Estado del arte

Se realizó una revisión bibliográfica usando motores de búsqueda como *Google Académico* en donde se investigó por artículos donde se traten temas relacionados con las palabras claves de esta investigación, temas como lo son principalmente la espiral de la muerte en el cual se tengan en cuenta el factor financiero y donde se planteen otros factores que contribuyen a la espiral de la muerte en este sistema relacionado con la red eléctrica o el mercado de energía. Los resultados de esta búsqueda se plasman en la tabla presentada a continuación (Tabla 1)

| TÍTULO DEL ESTUDIO             | AUTORES - AÑO | PROBLEMA                                                   | PRINCIPALES CONCLUSIONES                                | POSIBLES APORTES AL PROYECTO                      |
|--------------------------------|---------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Energy modelling platforms for |               | Aumento de margen del sistema el precio de la energía cae. | Hipótesis dinámica basada en la demanda energética y la | Demanda y capacidad de generación representada en |

|                                                                                                                                        |                                                                         |                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| policy and strategy support                                                                                                            | Isaac Dynner - 2000                                                     |                                                                                                                                                                                  | capacidad de generación. (Dynner, 2000)                                                                                                                                                                                                                                                                                      | un ciclo de la muerte.                                                                                                                                                                                                  |
| Consumer's bounded rationality: the case of competitive energy markets                                                                 | Isaac Dynner, Carlos Jaime Franco - 2004                                | Desafío en la comprensión de los procesos y agentes involucrados en el mercado energético.                                                                                       | Se muestra la influencia de los vendedores sobre los deseos y las oportunidades de compra de las decisiones de los consumidores. (Dynner & Franco, 2004).                                                                                                                                                                    | Presentación del mercado y la influencia de los actores en él y cómo los <i>comercializadores</i> y <i>gobierno</i> influyen en los consumidores definiendo el rumbo de las empresas involucradas                       |
| Assessing the combined effect of the diffusion of solar rooftop generation, energy conservation and efficient appliances in households | Laura Cardenas, Manuel Zapata, Carlos Jaime Franco, Isaac Dynner - 2017 | Producción solar desde los tejados como respuesta positiva al cambio climático y los efectos de esta generación sobre la reducción de necesidades de infraestructura energética. | Importancia del rol como consumidores de servicios de energía eléctrica y el efecto en cadena desatado cuando los consumidores se convierten en prosumidores incitando a que haya más <i>prosumers</i> permitiendo que haya mas adopción de tecnologías afectando la demanda del mercado mayorista. (Cá rdenas et al., 2017) | Este sistema de autogestión de la demanda permite ver la importancia de las decisiones de los consumidores y de cómo actúa en el ciclo a medida que existen más consumidores conocedores y apropiados de la tecnología. |
| Myths and facts of the utility death spiral                                                                                            | Mónica Castañeda, Maritza                                               | El crecimiento de sistemas fotovoltaicos                                                                                                                                         | Se demuestra qué pasa cuando la                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Se puede partir del espiral de la muerte que                                                                                                                                                                            |

|                                                                                        |                                                                           |                                                                              |                                                                                                                                                                             |                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                        | Jimenez, Sebastian<br>Zapata, Carlos<br>Franco, Isaac<br>Dynner -<br>2017 | representa una amenaza a otros modelos de negocio de servicios públicos.     | demanda desciende por la adopción de tecnologías PV. (Castaneda, Jimenez, et al., 2017)                                                                                     | surge efecto mediante el crecimiento de la adopción de sistemas PV.                        |
| Difussion of renewable energy technologie:<br>The need for policy in Colombia          | Maritza Jimenez, Carlos Franco, Isaac Dynner. -<br>2016                   | Si existen o no condiciones favorables para el desarrollo de tecnologías PV. | Rápida difusión de los sistemas fotovoltaicos gracias a buenas condiciones para estos sistemas. (Jiménez et al., 2016)                                                      | Modelos sistémicos de la difusión de la energía renovable en Colombia.                     |
| Evaluating the effect of technology transformation on the electricity utility industry | Mónica Castañeda, Carlos Franco, Isaac Dynner -<br>2017                   | Impacto potencial de las energías renovables en los sistemas eléctricos.     | En la espiral de la muerte de los servicios públicos dos factores contribuyen a la aceleración de la adopción de sistemas PV con consecuencias negativas al sector público. | Resultados de investigación favorables para los que se pretenden mostrar en este proyecto. |

Tabla 1. Resultado de búsqueda bibliográfica de trabajos afines al tema propuesto.

*Fuente: elaboración propia*

VOSviewer

Se realizó la búsqueda bibliométrica con la ayuda de la herramienta VOSviewer, software que ha sido desarrollado para el análisis de la literatura científica.

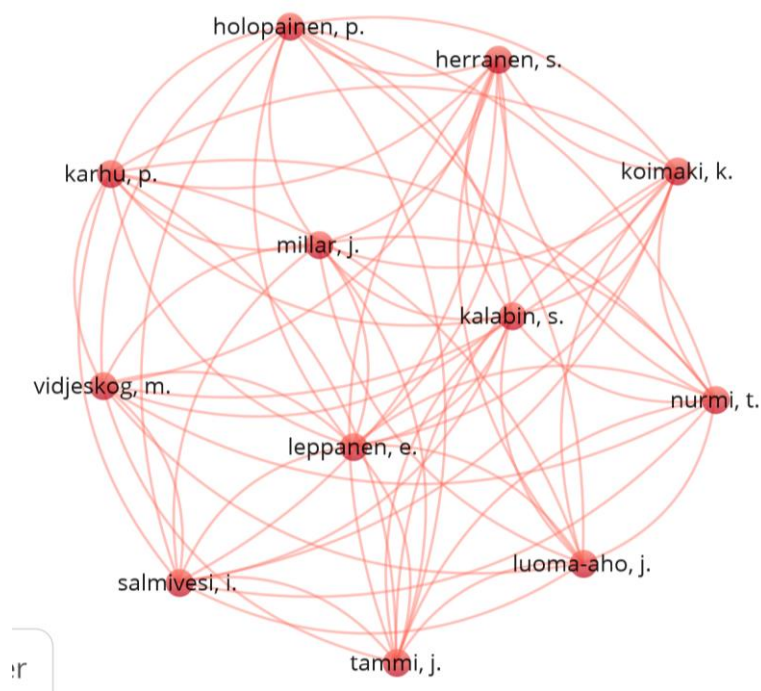


Figura 2. Resultado de búsqueda bibliográfica por “Death spiral”  
*Fuente: elaboración propia*

En la figura anterior (Véase Figura 2) se puede observar el resultado de la búsqueda de los autores que han trabajado en temas similares o iguales al espiral de la muerte con en el área de la energía eléctrica. Cada una de las circunferencias contienen el nombre de estos autores y las líneas son la representación de la relación bibliográfica que existe entre los trabajos desarrollados por ellos alrededor de estos temas.

### Documents by year

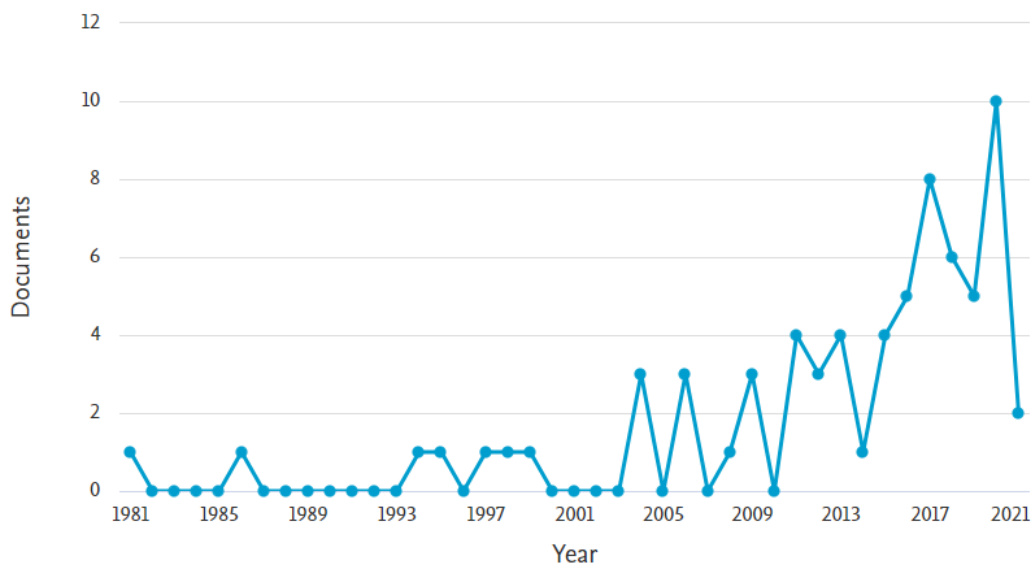


Figura 3. Resultado de búsqueda bibliográfica por “Year”

*Fuente: elaboración propia*

En el gráfico “Year” (Véase Figura 3) se aprecia el resultado de la búsqueda de las fechas en las que más se han tratado estos temas relacionados con la espiral de la muerte alrededor de la energía eléctrica, figura el cual nos muestra la cantidad de documentos por año. Se puede evidenciar la que a partir del año 2004 apareció una mayor cantidad de trabajos de investigación en comparación a años anteriores y, permite observar también que hasta ahora el año en el que más documentos se han publicado sobre estos temas han sido en el presente año 2021.

### Documents by country/territory

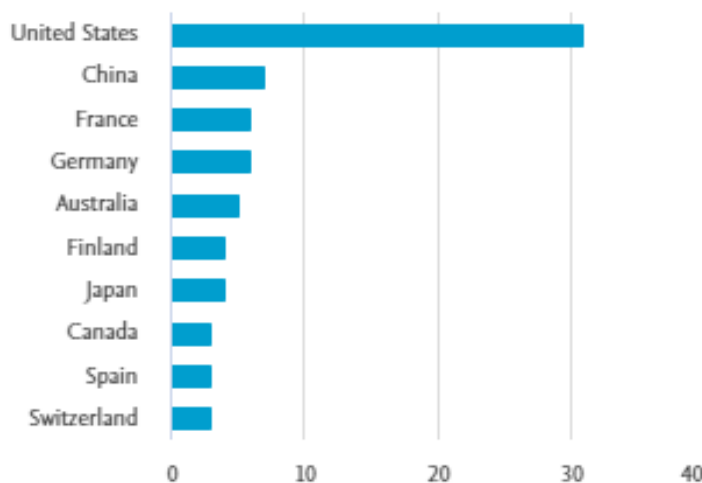


Figura 4. Resultado de búsqueda bibliográfica por “Country”  
Fuente: elaboración propia

En la resultado de búsqueda por “country” (Véase Figura 4) se puede distinguir en forma de lista los países de mayor a menor cantidad de documentos publicados alrededor de temas de la espiral de la muerte en ambientes de energía eléctrica, dando como resultado que *Estados Unidos* encabeza la lista con más de 30 publicaciones, seguido de *China* y *Francia*.

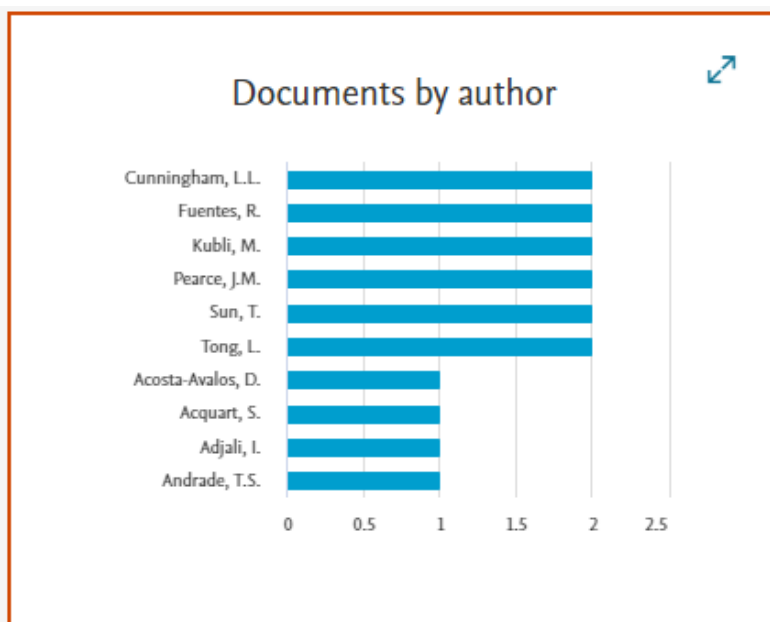


Figura 5. Resultado de búsqueda bibliográfica por “Autor”  
Fuente: elaboración propia

Como resultado de buscar los autores que han trabajado sobre estos temas se obtienen los resultados (Véase Figura 4) representados en forma de listado la cantidad de autores por nombres los cuales han publicado sobre temas relacionados al espiral de la muerte.

## Marco teórico

En el marco teórico se pretende hacer un listado de los términos más importantes desde nuestro punto de vista el cual es necesario conocer para que así se entienda bien de lo que se está hablando durante todo el proyecto.

**Demanda eléctrica:** Es la cantidad de energía eléctrica que un grupo de individuos o uno de ellos requieren para sus necesidades. (Häfele, 1977) .

**Espiral de la muerte:** Situación en la cual la aparente solución de un problema encadena una serie de circunstancias, creando nuevos problemas incrementando la dificultad de solucionar el problema original.

**Energía solar fotovoltaica:** Es la obtención de energía eléctrica mediante el movimiento de electrones que componen los paneles solares, movimiento producido por un diferencial de potencial eléctrico cuando la luz del sol cae sobre los paneles.

**Prosumidor:** Es un consumidor que a través de la adopción de tecnologías de producción de energías renovables produce la energía necesaria para su consumo. (*Barazesh et al., 2019*)

**Red eléctrica:** Es la encargada de suministrar electricidad a los consumidores.

**Tarifa eléctrica:** Es el precio que se paga por una unidad de consumo del servicio de energía eléctrica.

**Comercializador:** Tiene como función la venta de la energía eléctrica a los consumidores.

**Consumidores:** Son aquellos que consumen anualmente una cantidad de energía que opera sobre una tarifa determinada.

**Watt:** Es una unidad de potencia representada por el símbolo W.

**Cambio de precio:** Variabilidad del precio a partir de factores como subsidios y la demora en el cambio de tarifa.

**Oferta de energía:** Es la puesta en venta de la cantidad de energía producida bajo determinado valor estimado por la demanda.

## Diseño metodológico

En dinámica de sistemas se usan técnicas para analizar y modelar el comportamiento del sistema para comprender las causas estructurales que causan la misma. La metodología necesaria para el desarrollo de la presente investigación se enmarca en 4 fases, cada una con dos actividades, las cuales se realizaron de forma secuencial de manera paralela a la constante y permanente revisión de la literatura.

La primera fase consistió en el desarrollo de la investigación y modelación nombrada como *desarrollo del trabajo* mientras que paralelamente se realizó una constante revisión de la literatura buscando por mejoras al modelo. La segunda fase consistió en la agrupación de la información de la que se realizó un análisis para luego de esto en la fase 3 realizar un modelamiento dinámico sistémico estructurado con suficiente información para así obtener resultados que nos respondiera al planteamiento del problema. La 4 fase trató sobre el análisis de los resultados y la búsqueda de estrategias de mejora.

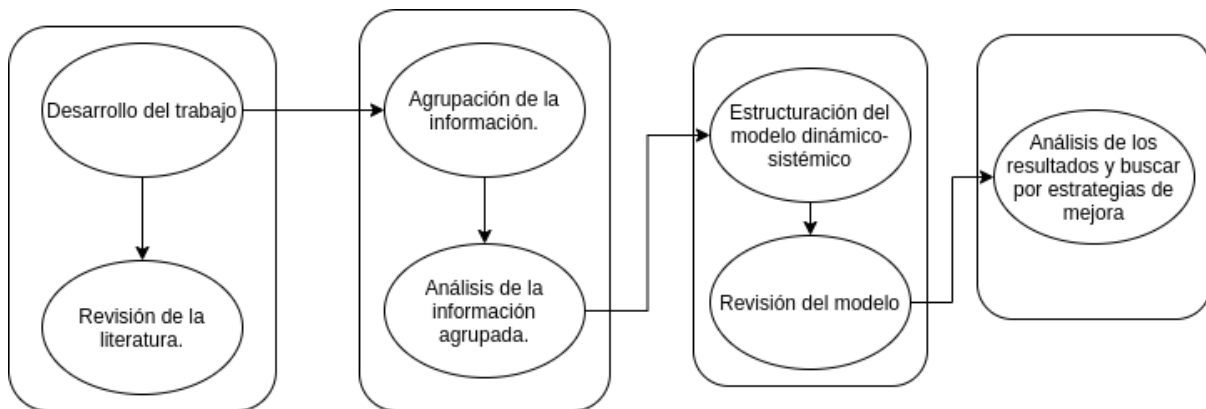


Figura 6. Metodología con la que se desarrollará el trabajo general.  
 Fuente: elaboración propia

En el modelo causal **Figura 7** se puede observar los factores principales que intervienen en nuestro sistema para demostrar el espiral de la muerte de la red eléctrica Colombiana. En la **Figura 7** se aprecian dos bucles **B1** y **B2** que están en representación de la oferta y la demanda siendo **B1** la demanda de energía quien está representado como *power demand* quien a su vez afecta directamente a *Reserve Margin* el cual es la medida de seguridad del sistema quien especifica la capacidad disponible sobre el poder de la demanda determinada por la relación entre el *power demand* y *installed capacity*. **B2** es el bucle que representa la oferta dada principalmente por *installed capacity*.



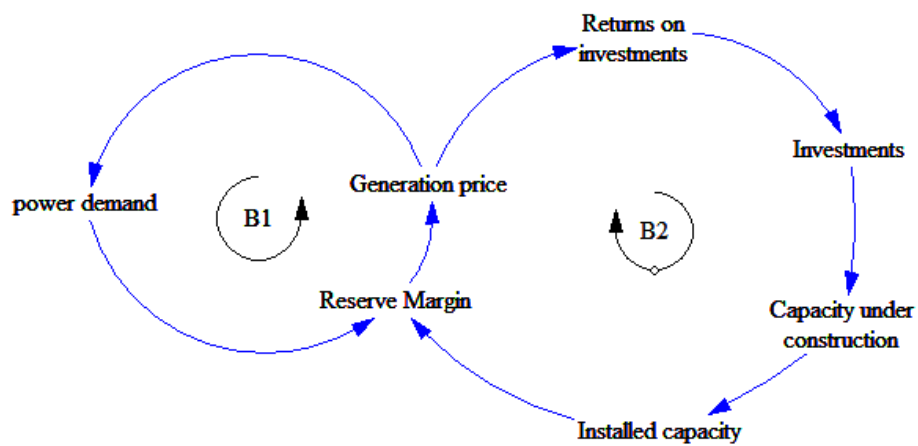


Figura 7. Modelo de la hipótesis dinámica.  
*Fuente: elaboración propia*

## Resultados obtenidos

En primera instancia luego de una búsqueda en la cual se pudieran observar modelos dinámico-sistémicos que trataran y especificaran sobre temas del modelo de un mercado en general, teniendo en cuenta sus principales características ya que para poder demostrar el espiral de la muerte es necesario demostrar que se de un sistema de mercado (Marquez, 2021) ya que de ahí se parte para establecer lo que se quiere mostrar el cual es la espiral de la muerte dada en el mercado de energía.

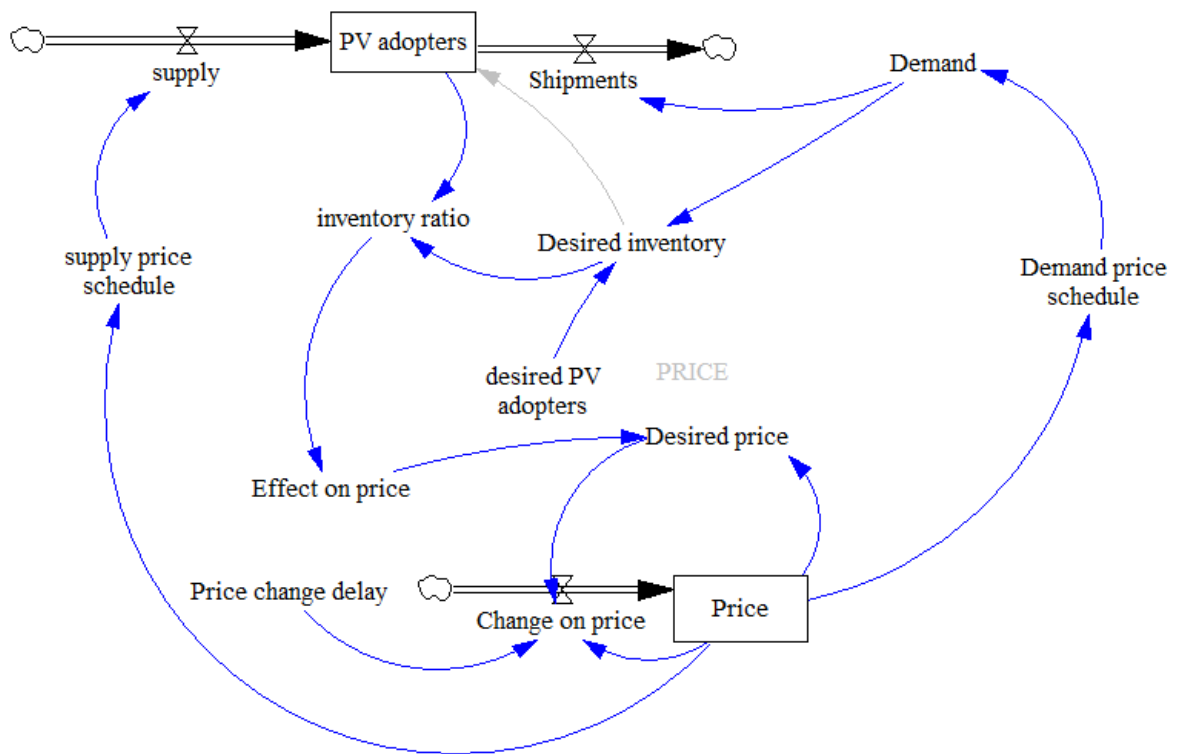


Figura 8. Modelo de mercado  
Fuente: (Marquez, 2021)

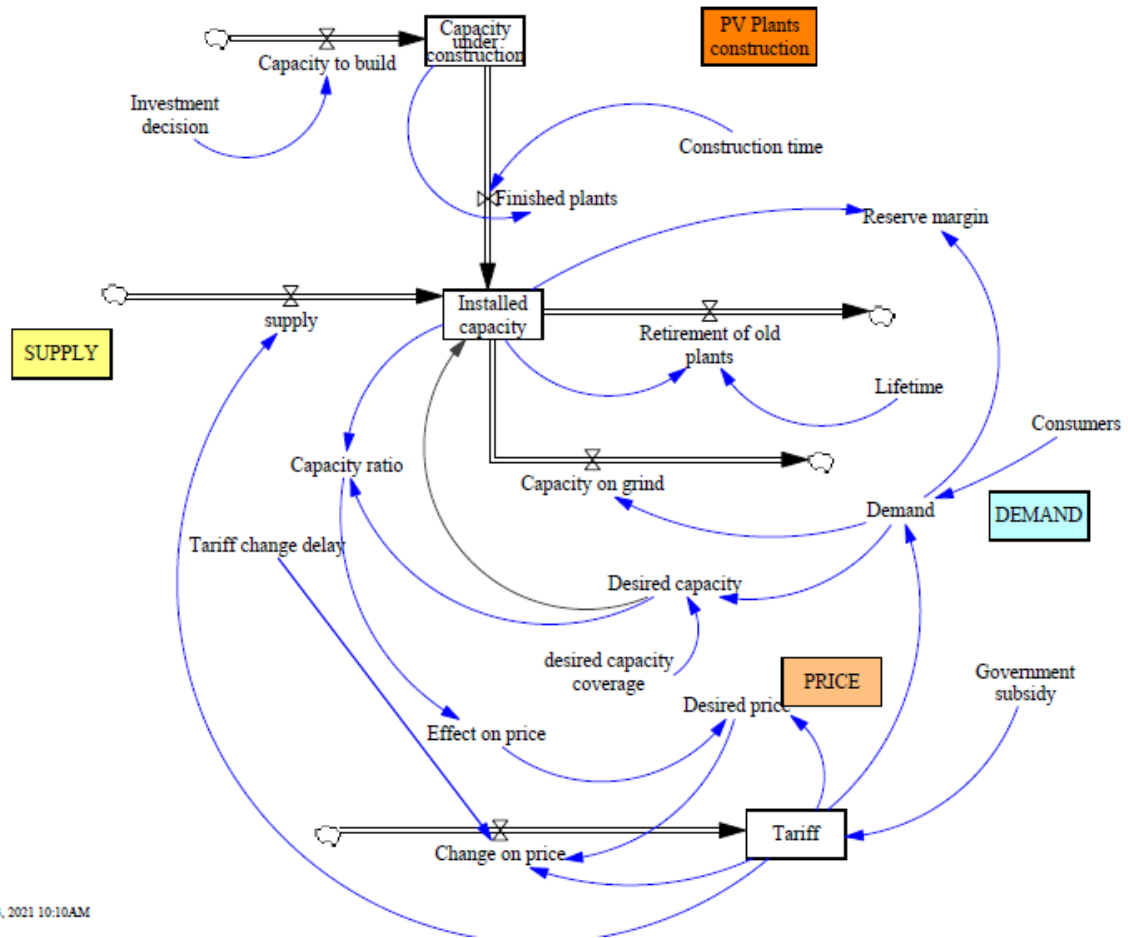


Figura 9. Modelo de la espiral de la muerte  
Fuente: elaboración propia

En el modelo anterior **Figura 8** realizado en el software de simulación de sistemas reales Vensim, se muestra dinámico-sistémicamente el modelo general del mercado de energía en donde se precisa representar la espiral de la muerte resultado del crecimiento *desmedido* de las tecnologías de generación de energía renovable, sistema el que ha sido el principal objetivo de demostrar a través de esta investigación.

Partiendo de la hipótesis dinámica **Figura 7** obtenemos como resultado el modelo de energía donde podemos observar el comportamiento de factores importantes en este sistema como lo es *Tariff* donde se representa el precio el cual tendrá que pagar el consumidor por el uso de la cantidad de energía eléctrica que consuma.

En este modelo se han tenido en cuenta las variables básicas que conforman el modelo de energía, variables necesarias para demostrar los cambios que presentan respecto al cambio principalmente de *tariff*, *demand* y *supply*.

Al correr este sistema se obtienen los siguientes resultados en la variable *Tariff* el cual está directamente influenciada por *Change on price* y *Government subsidy* variables el cual hacen mantenerse a *tariff* estable en el precio inicial de la tarifa el

cual es 622 COP aplicando el % correspondiente de subsidio en la simulación -200 pesos en la tarifa eléctrica.

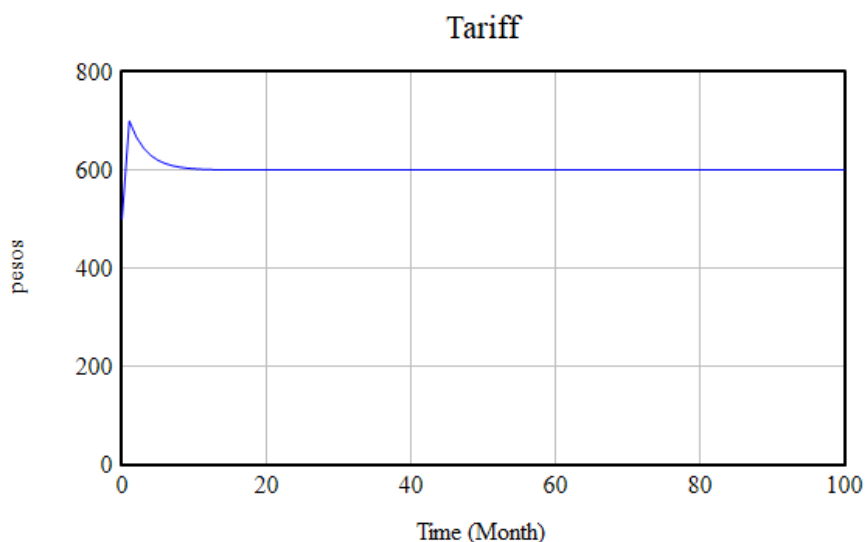
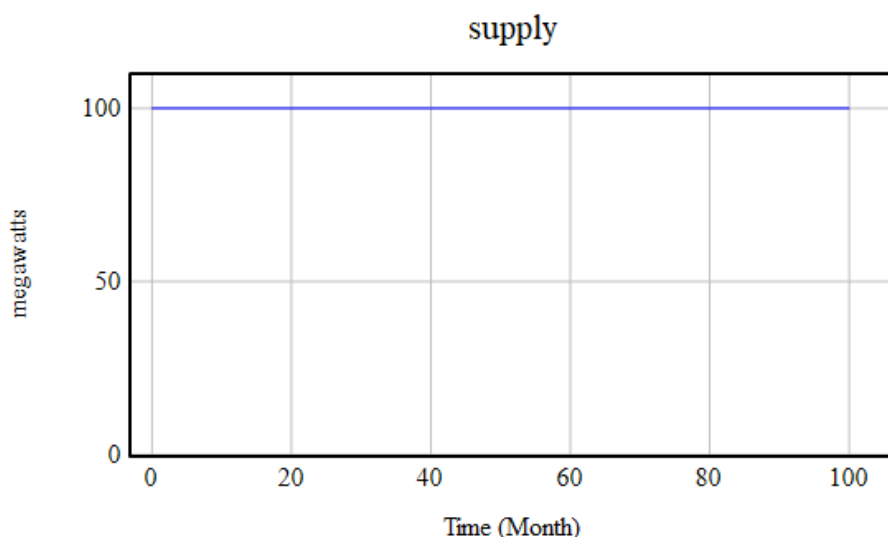


Figura 10. Gráfico del comportamiento de la tarifa de la electricidad en el modelo de energía.

Fuente: elaboración propia

Además de la tarifa, en este sistema también se tiene en cuenta el la cantidad de energía eléctrica que se ofrece, está representada por *Supply* el cual muestra la cantidad de KWh, mostrado en la **Figura 10** se representa esta variable el cual en este sistema muestra un comportamiento estable.



Figura

Gráfico de la oferta de energía expresada en megavatio/mes como resultado en el sistema de energía.

Fuente: elaboración propia

También entre los resultados obtenidos a través de la simulación en Vensim se muestra el comportamiento de la variable de **Demand** el cual representa la demanda de energía de los consumidores en la **Figura 11**.

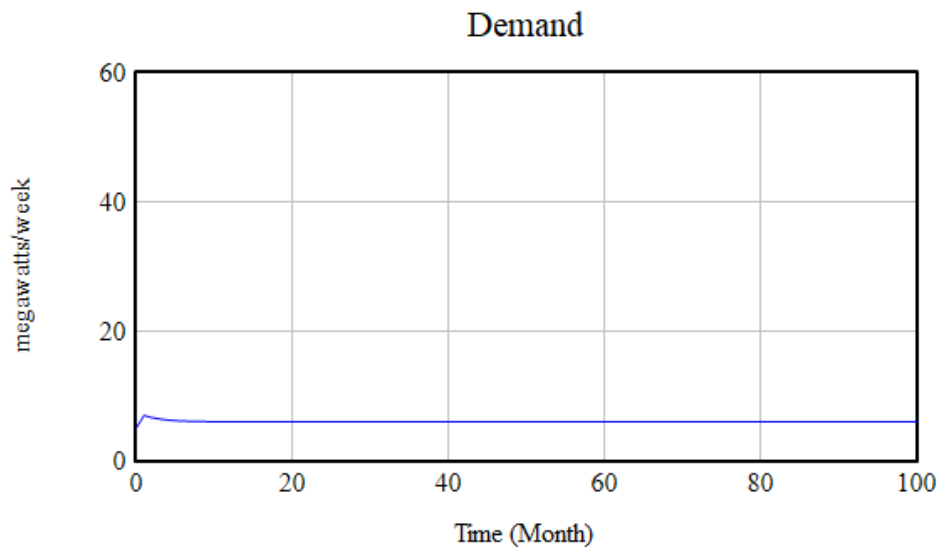


Figura 12. Gráfico del comportamiento de la demanda de energía en el modelo.  
*Fuente: elaboración propia*

## Estrategias de mejora

El modelo responde a unos datos y factores que se tienen en cuenta en el sistema de red eléctrico real y sus costos, sin embargo el sistema real es mucho más amplio y complejo en lo cual, si se pueden desagregar varios de sus componentes permitiría acercar los resultados mucho más a la realidad permitiendo así ver de manera más detallada el sistema.

Como estrategia de mejora del sistema de simulación se puede encaminar a la búsqueda y como mencionaba anteriormente a la desagregación de los componentes esto permitiendo encontrar variables también importantes que influyan en los resultados y en la intención de demostrar el espiral de la muerte del crecimiento de las fuentes de energía renovable frente a las fuentes de energía tradicional. La investigación como primera medida de estrategia, haciendo una comparación del modelo que se tiene como resultado frente a modelos ya existentes de la espiral de la en sistemas similares al nuestro.

Teniendo en cuenta los resultados se satisfacen cada uno de los objetivos específicos y por ende cada uno de los resultados esperados que se desprenden de cada uno de estos objetivos se presenta un diseño de la hipótesis dinámica en donde se representa el efecto de la espiral de la muerte en el sistema de la red eléctrica. Se muestra también un diseño del modelo dinámico sistémico donde se representa el fenómeno de la

espiral de la muerte del sistema planteado, además se muestra una simulación del modelo donde se han insertado datos reales para poder correr y simular este sistema y finalmente se intenta explicar el fenómeno de la espiral de la muerte del sistema planteado mediante la simulación junto a el actual análisis escrito sobre posibles estrategias de mejora del modelo realizado.

## Cronograma de actividades

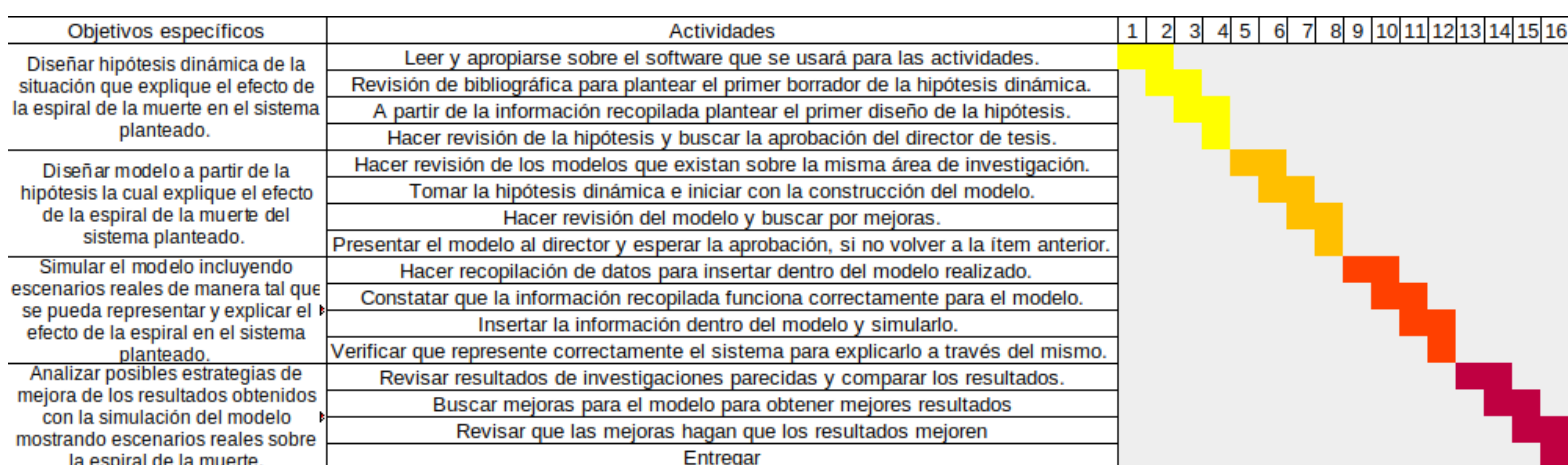


Figura 13. Cronograma de actividades de cada uno de los objetivos específicos.  
Fuente: elaboración propia

## Presupuesto

En la tabla 2

| <b>Concepto</b> | <b>Monto mensual</b> | <b>monto x 4 meses</b> |
|-----------------|----------------------|------------------------|
| Internet        | \$80.000             | \$320.000              |
| Asesoría        | \$800.000            | \$3.200.000            |
| Documentos      | \$200.000            | \$800.000              |
| Computador      | \$1.500.000          | \$1.500.000            |
| Mano de obra    | \$800.000            | \$3.200.000            |
| Servicio de luz | \$80.000             | \$320.000              |
| <b>TOTAL</b>    | <b>\$3.460.000</b>   | <b>\$13.840.000</b>    |

Tabla 2. Presupuesto del trabajo

## Bibliografía

- Arango, S. P. (2018). Competencia minorista en el mercado de electricidad en Colombia: Diagnóstico y recomendaciones basadas en experiencias internacionales. *Competencia Minorista En El Mercado de Electricidad En Colombia: Diagnóstico y Recomendaciones Basadas En Experiencias Internacionales*, 121.
- Barazesh, M., Nia, F. F., & Bayaz, M. H. J. D. (2019). Investigating the Effect of Renewable Distributed Generation and Price Elasticity of Demand on Electric Utilities' Death Spiral. *34th International Power System Conference, PSC 2019*, 216–221. <https://doi.org/10.1109/PSC49016.2019.9081453>
- Cardenas, L., Zapata, M., Franco, C. J., & Dyer, I. (2017). Assessing the combined effect of the diffusion of solar rooftop generation, energy conservation and efficient appliances in households. *Journal of Cleaner Production*, 162, 491–503. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.068>
- Castaneda, M., Franco, C. J., & Dyer, I. (2017). Evaluating the effect of technology transformation on the electricity utility industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80(65), 341–351. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.179>
- Castaneda, M., Jimenez, M., Zapata, S., Franco, C. J., & Dyer, I. (2017). Myths and facts of the utility death spiral. *Energy Policy*, 110(65), 105–116. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.07.063>
- Dyer, I. (2000). Energy modelling platforms for policy and strategy support. *Journal of the Operational Research Society*, 51(2), 136–144. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600813>
- Dyer, I., & Franco, C. J. (2004). Consumers' bounded rationality: The case of competitive energy markets. *Systems Research and Behavioral Science*, 21(4), 373–389. <https://doi.org/10.1002/sres.644>
- González, R., Jiménez, H., & Lagunas, J. (2010). Sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica. *Iie*, 104. <https://ecotec.unam.mx/wp-content/uploads/Sistemas-Fotovoltaicos-conectados-a-la-red.pdf>
- Guillen, A., & Abreu, J. (2016). Energías Renovables y Conservación de Energía (Renewable Energies and Energy Conservation). *International Journal of Good Conscience*. Abril, 11(1), 141–155.
- Häfele, W. (1977). *La demanda de energía*. [https://www.iaea.org/sites/default/files/19604082137\\_es.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/19604082137_es.pdf)



Jimenez, M., Franco, C. J., & Dyner, I. (2016). Diffusion of renewable energy technologies: The need for policy in Colombia. *Energy*, *111*, 818–829. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.06.051>

Zapata, S., Castaneda, M., Garces, E., Franco, C. J., & Dyner, I. (2018). Assessing security of supply in a largely hydroelectricity-based system: The Colombian case. *Energy*, *156*, 444–457. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.118>

Williams, A., & Turvey, R. (1972). Demand and Supply. *The Economic Journal*, *82*(327), 1067. <https://doi.org/10.2307/2230289>