

01-001

MODEL BASED ON SYSTEMS DYNAMICS FOR FORECASTING RESULTS OF PLANNING-INVESTMENT AND EXECUTION OF INDUSTRIAL PROJECTS

Cadenas Anaya, Carmelina Rosario ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Politécnico Grancolombiano

The objective of this article is to propose a model based on dynamic interrelationship equations, for forecasts of planning-investment results and execution of industrial projects. The Conceptual Model was built from - in the first instance - the root definition of Soft Methodology-SSM systems. In the case of the proposed Conceptual Model, the methodology of building dynamic models was used, so that this model is consistent with the use of causal relationships through loops or causal loops, according to the studies of Peter Senge and John Sterman. This model translates the interactions of strategic thinking, portfolios, projects and production, in order to generate the explanation of the forms of growth and decrease in the real system. The Forrester Diagram was made through the use of System Dynamics. As a way of validating the model, scenarios were carried out in the Colombian poultry sector, in order to observe the behavior of the systems. The proposed Conceptual Model and the Forrester Flow Model have an innovative character, because they allow to see, as a whole, the strategic management of projects in the industries, which is a different approach to existing linear models.

Keywords: briefcase; projects; strategy; industries; Dynamic of systems

MODELO BASADO EN DINÁMICA DE SISTEMAS PARA PRONÓSTICO DE RESULTADOS DE PLANIFICACIÓN-INVERSIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS INDUSTRIALES

El objetivo de este artículo es proponer un modelo basado en ecuaciones de interrelación dinámica, para pronósticos de resultados de planificación-inversión y ejecución de proyectos industriales. El Modelo Conceptual se construyó a partir de la definición raíz de los sistemas suaves Soft System Methodology-SSM. En el caso del Modelo Conceptual propuesto se usó la metodología de construcción de modelos dinámicos, de tal manera que dicho modelo sea consistente con la utilización de relaciones causales a través de bucles o lazos causales, según los estudios de Peter Senge y John Sterman. Este modelo traduce las interacciones del pensamiento estratégico, los portafolios, los proyectos y la producción, con el fin de generar la explicación de las formas de crecimiento y disminución en el sistema real. El Diagrama de Forrester se realizó mediante la utilización de la Dinámica de Sistemas. Como forma de validar el modelo se corrieron escenarios en el Sector avícola colombiano, a fin de observar el comportamiento de los sistemas. El Modelo Conceptual propuesto y el Modelo de Flujo de Forrester tienen un carácter innovador, debido a que permiten ver, como un todo, la gestión estratégica de proyectos en las industrias, con un enfoque diferente a los modelos lineales existentes

Palabras clave: portafolio; proyectos; estrategia; industrias; Dinámica de sistemas

Correspondencia: Carmelina Cadenas Anaya carmelinacadenas@gmail.com



©2020 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

El desarrollo industrial país, región u organización siempre va de la mano con las políticas dictadas por el gobierno corporativo o por el gobierno público. Un estudio presentado por Borratero (2019) en Argentina muestra cómo los resultados obtenidos sugieren que la articulación entre intervenciones estatales de calidad y una acción empresarial local orientada al crecimiento sectorial, con altos grados de enraizamiento y reciprocidad, favorecieron el creciente dinamismo del sector analizado durante la década de los años 2000.

En consecuencia, es evidente que la gestión estratégica de proyectos en el desarrollo industrial es vital para crear ambientes donde se puedan generar escenarios y directrices apropiados, que permitan lograr objetivos y metas orientadas a promover el crecimiento de la producción y de la productividad. Para lograr esto, el proceso de toma de decisiones estratégicas es visto como un sistema complejo de interrelaciones que afecta otros procesos e indicadores de producción, particularmente cuando debe decidirse sobre los proyectos de inversión que deben ejecutarse en un portafolio.

Para gestionar estos procesos estratégicos, las industrias o gobiernos utilizan herramientas que apoyen sus procesos de toma de decisiones; tal es el caso de los estándares presentados por organizaciones mundialmente aceptadas: Project Management Institute (PMI), PProjects IN Controlled Environments (PRINCE2), International Project Management Association (IPMA) y la ISO 21500 e ISO 10006.

En estos estándares tradicionales las interacciones entre los subsistemas estratégico, proyectos y producción se muestran de manera lineal, con lo que se ve limitado el accionar y la toma de decisiones aplicando el pensamiento sistémico. Tradicionalmente, se seleccionan técnicas de análisis basadas en procesos o en productos, donde no se reconocen las interacciones de cada una de las variables del sistema organizacional, considerados entornos complejos.

Ahora bien, aquí se propone un enfoque diferente basado en la Dinámica de Sistemas-DS, que a diferencia de los modelos lineales tradicionales donde se obtienen soluciones de problemas al maximizar o minimizar la función-objetivo, sujeta a ciertas restricciones, en la DS se usan ecuaciones diferenciales donde se “describe el fenómeno modelado usando un conjunto de ecuaciones que interconectan el comportamiento de los individuos o grupos de individuos al ambiente en que ellos habitan” (Cadavid y Franco, 2012, p. 2).

La estructura del documento está compuesta de seis secciones: la primera es la introducción, la segunda sección describe la metodología, la tercera describe el modelo conceptual, la cuarta muestra el modelo de flujo o diagrama de forrester y en la última sección, se muestran ensayos en el sector agroindustrial avícola colombiano, como una manera de validar el modelo propuesto y las conclusiones.

2. Metodología y materiales para el diseño del modelo en dinámica de sistemas

Para desarrollar el modelo conceptual y el modelo de flujo se utilizó la metodología para desarrollo de modelos dinámicos propuesta por Jhon Sterman, que se describe a continuación:

1. Identificación del problema: consiste en determinar los comportamientos problemáticos y objetivos importantes del proceso de asignación de recursos a proyectos de portafolio (esfuerzos) para incrementar el valor del negocio (producción y productividad) de la cadena de producción de industrias básicas. Con el fin de identificar la situación problema objeto de

estudio y establecer la Definición Raíz-DR se analizaron los lineamientos del Soft System Methodology-SSM (Metodología de Sistemas Suaves) Checkland y Poulter (2006), método cuyo principio es sistémico debido a que se hace un estudio considerando la totalidad o el sistema contenedor ubicado en el nivel mayor de la jerarquía.

2. Determinación de los factores Incidentes: se basa en aislar las situaciones que parecen interactuar para crear los síntomas observados. Deben visualizarse interrelaciones y describirse los factores que influyen en la respuesta del funcionamiento de un portafolio de proyectos. Posteriormente a la elaboración de la DR, fue necesario establecer el modelo conceptual lo que consistió en la creación o identificación de las relaciones existente entre los componentes o variables de las actividades humanas nombradas y conceptualizadas en la definición raíz para realizar el reporte de lo que es el sistema.

3. Formulación del modelo conceptual: en esta fase se busca establecer las combinaciones de variables, que conformarán el modelo conceptual, utilizando lazos retroalimentados propuestos por Peter Senge (1995).

4. Formulación del modelo de flujo o modelo dinámico. Esto proporcionará un modelo que contenga los mecanismos de interacción que han sido visualizados entre las partes del sistema descrito en los puntos anteriores, donde se muestren de forma gráfica las interrelaciones entre las variables de nivel, variables de flujo y variables auxiliares.

5. Elaboración de ecuaciones: en él se incluyen las políticas de decisión, fuentes informativas e interacción de los componentes del sistema. Esta etapa consiste en hacer más inteligible la recolección de información llevada a cabo, vertiéndola en una forma menos ambigua y con las que se puede experimentar mediante las indicaciones provenientes de los informes.

6. Generación del comportamiento del sistema en el tiempo: en esta etapa el modelo toma el lugar del sistema real y simula su funcionamiento en circunstancias que son tan reales como las fue la descripción original del sistema. Esta etapa requiere de un vasto trabajo aritmético, el cual es realizado por el computador basándose en el modelo.

7. Comparación de resultados con comportamiento real: después de la simulación, viene la interpretación de los resultados obtenidos de la misma. Generalmente, cuando se examina el experimento, surgen nuevos problemas e incógnitas. Esto permite visualizar si el modelo se ajusta al sistema real, si alguna de las etapas anteriores fue mal desarrollada, o si el modelo se acerca a la realidad.

8. Revisión del Modelo: con los resultados obtenidos en la etapa anterior, se deben hacer revisiones y ajustes progresivos al modelo con la finalidad de afinar su funcionamiento y lograr que su representación sea la más cercana al sistema real.

9. Se Utilizó el software de simulación Vensim 2.0 para los diagramas causales o de influencias y para ensayar portafolio de proyectos.

2.1 Hipótesis Dinámica de Partida

En esta investigación se planteó la siguiente la hipótesis dinámica de partida para desarrollar el modelo:

“El esfuerzo financiero tiene mayor impacto en la toma de decisiones para seleccionar proyectos del portafolio de la industria que otro tipo de esfuerzos, con la finalidad de conocer el impacto en los volúmenes de producción”.

3. Modelo conceptual de gerencia estratégica de proyectos (GEPI)

El diseño se inició con la descripción de la gerencia estratégica de proyectos en los sectores industriales. La base observacional del sistema se corresponde con la revisión de los estándares internacionales para gestión de portafolios de proyectos tal es el caso: Standard for Portfolio Management (4ta Edición, PMI) y el Management of Portfolios (Axelos).

Estas referencias sirvieron de base observacional para delinear en el siguiente punto la definición raíz, necesaria para el inicio del desarrollo del modelo conceptual GEPI. A partir de la observación realizada en cada documento, se construyó el cuadro que se muestra a continuación, donde se da respuesta a cada una de las preguntas de la PQR para construir la Definición Raíz que se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Formula PQR para el proceso de Formulación presupuestaria de portafolio de proyectos de las industrias

P ¿Qué?	Q ¿Cómo?	R ¿Por qué?
Gestionar portafolio de proyectos que proporcione un posicionamiento cuantitativo de la industria en comparación con la competencia (con el promedio y con los mejores).	Que se establezcan las mejores prácticas para normalizar la ejecución de proyectos y contribuir a optimizar las metas de calidad, tiempo y costo de los proyectos, y su alineación con el plan de negocios.	Para analizar el riesgo involucrado y decidir comprometer los recursos necesarios, a fin de materializar la idea, maximizando las posibilidades de éxito.

Definición Raíz: la Oficina Estratégica de Gerencia de Proyectos está encargada de la recepción y revisión de los proyectos estratégicos y la Oficina de Gerencia de Proyectos, del Sector industrial, está encargada de la solicitud y ejecución de los recursos asignados a los grupos de proyectos. Estas actividades deben ser realizadas por actores que garanticen que los proyectos seleccionados para un portafolio -en el año vigente- tengan un impacto positivo en el valor del negocio, en términos de la producción y la productividad.

3.1 Construcción del modelo conceptual

Partiendo de la Definición Raíz se construye el modelo que representa las relaciones causales. Esta construcción se sustenta en los verbos de acción presentes en la Definición Raíz, los cuales se transformaron en subsistemas, con el fin de definir las actividades “mínimas necesarias” implícitas en la definición.

Esta segunda fase implicó definir las relaciones causales entre los elementos que integran el sistema en un modelo causal, que se denominará de ahora en adelante Modelo Conceptual de interrelación dinámica para pronósticos de resultados de planificación-inversión y ejecución de proyectos industriales según el Modelo GEPI, teniendo en cuenta que en él solo se muestran los lazos causales y no se recogen otras características, tales como información sobre el tiempo de simulación o sobre la naturaleza y magnitud de las variables.

En la Figura 1 se puede ver el Modelo GEPI presentado en este artículo. Se representaron las relaciones que implican algún bucle de realimentación y las relaciones de origen externo. Asimismo, se muestran los seis bucles de realimentación en que se estructura el modelo.

El Modelo Conceptual que se plantea en este artículo está compuesto por 6 bucles de retroalimentación que se describen a continuación:

-Bucle 1: refuerzo de estrategias del Plan Nacional de Desarrollo o Plan Estratégico Sectorial o Plan Estratégico Corporativo.

-Bucle 2: refuerzo del portafolio de proyectos.

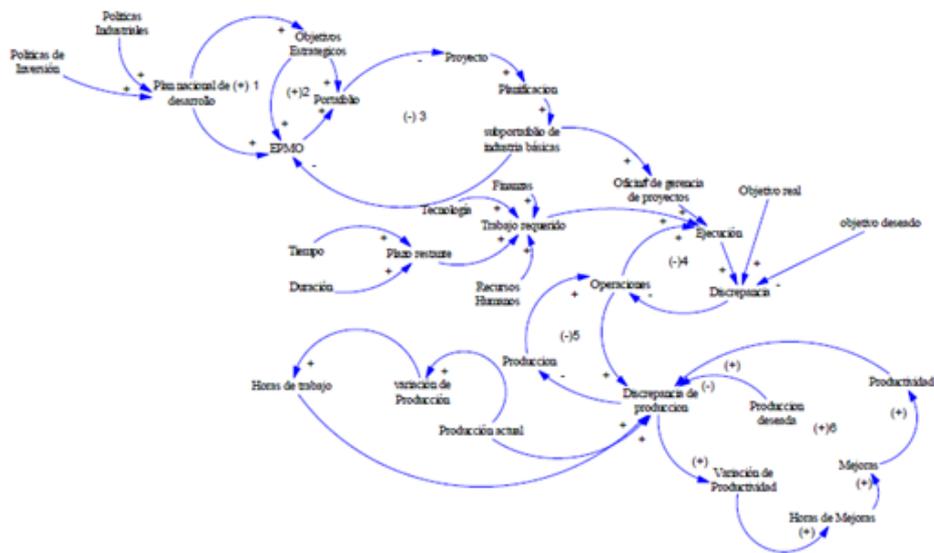
-Bucle 3: reajuste del portafolio por autorización de proyectos en la Oficina de Gerencia de Proyectos-PMO.

-Bucle 4: reajuste del proyecto por ejecución, cierre o diferimiento.

-Bucle 5: reajuste por recuperación de producción.

-Bucle 6: refuerzo de la productividad por mejoras operativas

Figura 1: Modelo Conceptual Gerencia Estratégica de Proyectos para Industrias -GEPI.



Nota: Elaboración propia de la Autora

4. Modelo de flujo o diagrama de forrester

Con el fin de desarrollar en esta siguiente fase el Modelo de Forrester o de Flujo se utiliza la Dinámica de Sistemas como una metodología para el estudio y manejo de sistemas de realimentación complejos.

En esta sección se muestra el Modelo de Flujo de la Gerencia Estratégica de Proyectos orientándolo al Sector industrias (identificado de ahora en adelante solamente por su sigla GEPIF).

4.1 Modelo de Flujo GEPIF propuesto en este artículo

Para el desarrollo del Modelo de Flujo GEPIF se utilizó el software de simulación dinámica Vensim. Este programa permite simular de una forma sencilla la complejidad de los sistemas reales. Para esto se requiere una serie de símbolos que permiten representar situaciones y comportamientos determinados, los cuales se describen a continuación:

Niveles: este es un acumulador que incorpora flujos de entrada y flujos de salida, con un valor inicial en cada período de tiempo durante el proceso de la simulación.

Tasas: estas representan las entradas y salidas de los niveles. Pueden estar formadas por constantes, variables y ecuaciones.

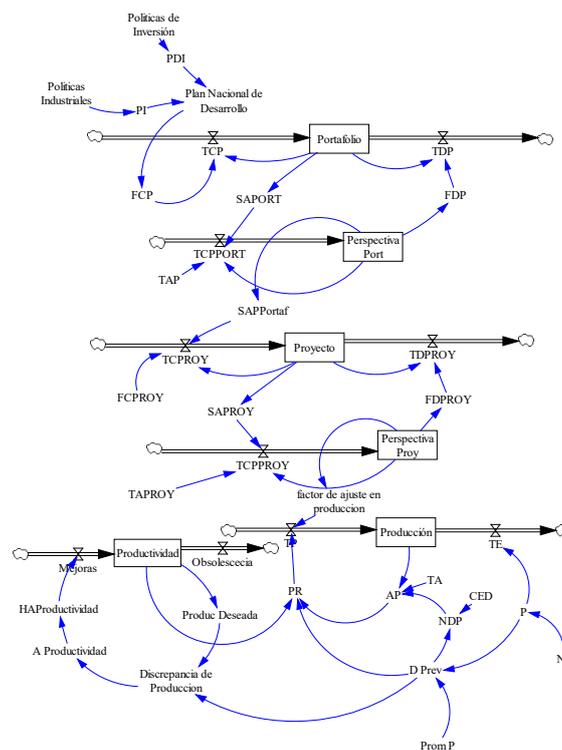
Auxiliares: estas son variables que están expresadas en cálculos a través de una ecuación o expresiones matemáticas. Sirven para generar el cálculo de valores que serán utilizados por otros componentes del modelo.

Constantes: estos valores no cambian a través de la simulación.

Para generar el Modelo de Flujo se representan las interrelaciones entre las diferentes unidades por medio del proceso operativo de funcionamiento generado en el Modelo Conceptual.

El Diagrama de Forrester GEPIF mostrado en la Figura 2 representa un sistema que responde a la Gestión Estratégica de Proyectos Industriales.

Figura 2: Modelo de flujo o diagrama de forrester -GEPIF.



Nota: Elaboración propia de la Autora

4.2 Ecuaciones

En el caso del modelo GEPIF se deducen las ecuaciones siguiendo el modelo representado gráficamente en la Figura 2. Estas ecuaciones son las siguientes:

Ecuaciones de nivel o de estado: basadas en el modelo de símil hidrodinámico de Forrester.

$$(d\text{portafolio})/dt = \text{Tasa de crecimiento del portafolio} - \text{Tasa de decrecimiento del portafolio} \quad (1)$$

$$(d\text{proyectos})/dt = \text{Tasa de crecimiento del proyecto} - \text{Tasa de decrecimiento del proyecto} \quad (2)$$

$$d\text{producción}/dt = \text{Tasa de Producción} - \text{Tasa de Entrega} \quad (3)$$

$$d\text{productividad}/dt = \text{Mejoras} - \text{Obsolescencia} \quad (4)$$

Ecuaciones de flujo o de decisión: basadas en el modelo de bucles de retroalimentación positivo y negativo de Forrester.

$$\text{Tasa de crecimiento del portafolio} = \text{Factor de Crecimiento del Portafolio} * \text{Portafolio} \quad (5)$$

$$\text{Tasa de decrecimiento del portafolio} = \text{Factor de Decrecimiento del Portafolio} * \text{Portafolio} \quad (6)$$

$$\text{Tasa de decrecimiento de la Perspectiva del portafolio} = (\text{Situación actual del Portafolio} - \text{Perspectiva del Portafolio}) / (\text{Tasa de Ajuste del Portafolio}) \quad (7)$$

$$\text{Tasa de crecimiento del proyecto} = (\text{Factor de decrecimiento del proyecto} * \text{Proyecto}) + \text{Situación actual del portafolio} \quad (8)$$

$$\text{Tasa de decrecimiento del proyecto} = \text{Proyecto} / (\text{Factor de decrecimiento del proyecto}) \quad (9)$$

$$\text{Tasa de crecimiento de la Perspectiva del proyecto} = (\text{Situación actual del Proyecto} - \text{Perspectiva del Proyecto}) / (\text{Tasa de Ajuste del Proyecto}) \quad (10)$$

Cada uno de los parámetros utilizados se ha considerado estrictamente mayor que cero. Las tasas de crecimiento y de decrecimiento de cada una de las variables de nivel se corresponden con los valores a los que se incrementan y disminuyen las variables de nivel o de estado

5. Aplicación en el sector agroindustrial colombiano. Subsector avícola

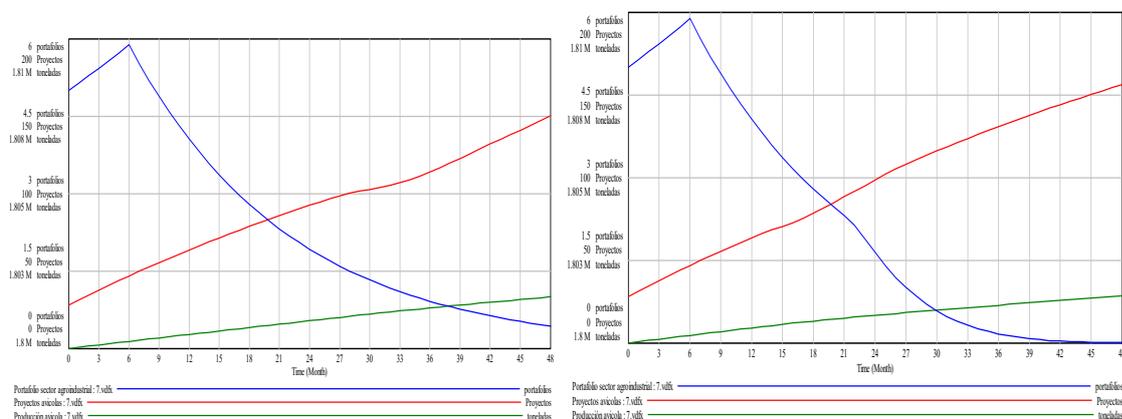
Para la aplicación del modelo se escogió la industria avícola colombiana, por ser considerada una industria representativa, perteneciente al Sector agroindustrial.

El Sector avícola colombiano presenta una evolución positiva en los años recientes y constituye uno de los motores del crecimiento de la producción pecuaria. Durante el 2018, esta industria registró una tasa de crecimiento del 4,8 % el cual fue superior en 1,2 puntos porcentuales respecto al 3,6 % para el año 2019. (Revista de la Federación Colombiana de Avicultores de Colombia-FENAVI, 2019, p.1).

5.1 Ensayos

En la Figura 3 se presenta los ensayos 1 y 2 con el Sector avícola colombiano y se toman los siguientes valores iniciales:

Figura 3: Ensayo 1 y 2 Sector Avícola Colombiano.



Nota: Elaboración propia de la Autora

En el ensayo 1 en los meses iniciales de la simulación se observa un incremento en los niveles del portafolio agroindustrial, de los proyectos avícolas y de la producción avícola, lo que muestra consistencia con las políticas del Estado colombiano de incrementar carteras de proyectos para impulsar la producción. Sin embargo, a partir del octavo mes y hasta el término de la simulación, la generación de portafolios para la planificación, inversión y ejecución de proyectos industriales disminuye gradualmente y tiene un impacto en el crecimiento de los proyectos en marcha y en el ascenso moderado de la producción.

En el ensayo 2, se acortan los tiempos de ajuste, tanto en portafolio agroindustrial como en proyectos avícolas, y se observa una caída más brusca en variables de nivel portafolio agroindustrial, pero se mantiene el crecimiento de proyectos avícolas ya en marcha y la producción. Esto demuestra una dinámica en el sector de generación de políticas públicas que en lo inmediato tienen un impacto significativo, pero luego su efecto es suavizado por los proyectos ya en marcha.

5.2 Discusión de resultados

Se puede interpretar, de los dos escenarios, que las áreas estratégicas y operacionales del Sector avícola colombiano sincronizan las estrategias considerando las capacidades de producción en equipamiento y fuerza laboral, y mejoran el flujo del sistema en todos sus ámbitos e impulsan desde las políticas industriales y de inversión la creación de proyectos en números mayores al 10 %.

Esta situación permite concluir que se prueba de nuevo –parcialmente- la hipótesis dinámica, es decir, que el esfuerzo financiero en los portafolios de proyectos no es el único factor de importancia que se tiene que considerar en la estrategia para impulsar el crecimiento sostenido de la producción en las empresas avícolas colombianas.

Los esfuerzos, tales como; esfuerzo en tiempo que se va a invertir, esfuerzo en el riesgo que se va a asumir, esfuerzo en Recursos Humanos-RRHH que se va a destinar, esfuerzo en plataforma tecnológica que se va a usar y esfuerzo en infraestructura que se va a utilizar, traducidos en el Diagrama de Forester en las ecuaciones de flujo, son importantes y tienen incidencia en el crecimiento de este importante sector industrial. Estos esfuerzos se ven reflejados en las tasas de entrega entre las áreas de Proyectos y Producción que en el caso

colombiano mejoran considerablemente al estar en un promedio de seis meses tanto, en el Área de Portafolios como en el Área de Proyectos.

6. Conclusiones

Las conclusiones que se presentan a continuación fueron elaboradas para demostrar los objetivos planteados y la hipótesis correspondiente:

1.- El Modelo Conceptual propuesto y el Modelo de Flujo de Forrester permiten ver, como un todo, la interrelación dinámica de la estrategia de proyectos en las industrias. Estos modelos fueron aplicados al Sector avícola colombiano y se logró comprobar su validez.

2.- Definir el Modelo de Flujo permitió crear un cuerpo de información relativo a un sistema de portafolio de proyectos de industrias con el propósito de construir escenarios para tomar decisiones a partir del comportamiento de las variables significativas.

3.- El Modelo de Flujo propuesto en podría usarse para hacer simulaciones en diversidad de condiciones y ser una metodología para que la Gerencia Estratégica de Proyectos planifique por escenarios, que permitan reducir la incertidumbre en el proceso de toma de decisiones estratégicas en las industrias.

4.- La hipótesis dinámica planteada se prueba parcialmente debido a que se demuestra que no solo el esfuerzo financiero es una variable importante para recuperar la producción, sino también que existen otros esfuerzos, tales como: esfuerzo en tiempo, esfuerzo en riesgo, esfuerzo en RRHH, esfuerzo en plataforma tecnológica y esfuerzo en infraestructura, traducidos en las ecuaciones de flujo del modelo en las tasas de entrega de proyectos culminados exitosamente a producción. Por lo tanto, el desempeño de las Oficinas corporativas de las Gerencias de Portafolios y Proyectos es un factor determinante en la entrega de los proyectos culminados a los stakeholders, que ayudan a incrementar el valor de las industrias en términos de producción y productividad.

5.- En el proceso de toma de decisiones estratégicas en las industrias públicas o privadas deben incorporar la utilización de herramientas científicas que permitan construir escenarios prospectivos, para disminuir la incertidumbre en este proceso.

6.- El modelo GEPIF propuesto en el presente Trabajo, a diferencia de los modelos existentes como el “Estándar para Gerencia de Portafolio” del Project Management Institute-PMI o el Management of Portafolio del Reino Unido (Axelos) que son cualitativos, corresponde a un modelo basado en ecuaciones diferenciales de primer orden, que permite ver la Gerencia Estratégica de Proyectos como un sistema y construir escenarios prospectivos cuantitativos que orientan el proceso de toma de decisiones.

7. La metodología de Dinámica de Sistemas (DS) es una herramienta poderosa que permite traducir las situaciones-problema de los sistemas y plantear modelos conceptuales para dar solución a dichos problemas en los cuales existe una alta intervención del ser humano, como en la Gerencia de Proyectos.

8.- Aplicar el enfoque sistémico o las conceptualizaciones del pensamiento sistémico en la Gerencia Estratégica de Proyectos permite aprovechar sus potencialidades, para construir un modelo basado en ecuaciones, utilizando la Definición Raíz de la Metodología de Sistemas Suaves y los lazos causales

Agradecimientos:

Dr Wilfredo Guaita (tutor)

Dra Rita Añez (Rectora Unexpo)

7. Referencias

- Borratero, C., (2019). Estado, empresarios y estrategias relacionales en la configuración de un nuevo Sector industrial en Córdoba, Argentina. *Sociedad y economía*, 37(37), 8-32. Recuperado de http://soiedadyeconomia.univalle.edu.co/index.php/sociedad_y_economia/%20article%20view%20/6152
- Cadavid, L. y Franco, C. (enero de 2012). Dinámica de Sistemas y Agentes para el modelado de la difusión de dos innovaciones en competencia. *Conference: X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, III Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas y I Congreso Argentino de Dinámica de Sistemas*. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <http://www.dinamica-desistemas.com/revista/dinamica-de-sistemas-20.pdf>
- Checkland, P. y Poulter, J. (2006). *Learning for action: a short definitive account of soft systems methodology and its use for practitioner, teachers, and students*. Toronto, Canadá: Wiley.
- Federación Nacional de Avicultores de Colombia-FENAVI. (2017). *Pulso avícola*. (1) Recuperado de <https://fenavi.org/wp-content/uploads/2018/05/PULSO-AVICOLA-No.-1-2017.pdf>
- Senge, P., Kleiner, A., Roberts, C. y Ross, R. (1995). *La quinta disciplina en la práctica*. Barcelona, España: Granica.

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

