



---

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y  
TELECOMUNICACIONES  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO DE SISTEMAS**

**TÍTULO:**

**MODELO DE PRODUCCIÓN AVÍCOLA USANDO EVENTOS DISCRETOS Y CICLOS DE  
REALIMENTACIÓN.**

**Autor:**

**JAIME LUIS TORRES FLÓREZ**

**Director:**

**Dr. CARLOS ARTURO PARRA ORTEGA**

**PAMPLONA-COLOMBIA**

**FEBRERO de 2018**



---

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y  
TELECOMUNICACIONES  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO DE SISTEMAS**

**TÍTULO:**

**MODELO DE PRODUCCIÓN AVÍCOLA USANDO EVENTOS DISCRETOS Y CICLOS DE  
REALIMENTACIÓN.**

**Autor:**

**JAIME LUIS TORRES FLÓREZ**

**Director:**

**Dr. CARLOS ARTURO PARRA ORTEGA**

**JURADO CALIFICADOR:**

**Ph.D. JOSÉ ORLANDO MALDONADO BAUTISTA**

**Esp. JOSÉ DEL CARMEN GÉLVEZ ARAQUE**

**Dr. WILSON ALBERTO CONTRERAS ESPINOSA**

**PAMPLONA-COLOMBIA**

**FEBRERO de 2018**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y**  
**TELECOMUNICACIONES**  
**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**  
**TRABAJO PRESENTADO PARA OPTAR POR ÉL TÍTULO DE**  
**INGENIERO DE SISTEMAS**

**TEMA:**

**MODELO DE PRODUCCIÓN AVÍCOLA USANDO EVENTOS DISCRETOS Y CICLOS DE REALIMENTACIÓN.**

**FECHA DE INICIO DEL TRABAJO: AGOSTO DE 2017**

**FECHA DE TERMINACIÓN DEL TRABAJO: MAYO de 2018**

**NOMBRES Y FIRMAS DE AUTORIZACIÓN PARA LA SUSTENTACIÓN:**

---

**JAIME LUIS TORRES FLÓREZ**  
**AUTOR**

---

**Dr. CARLOS ARTURO PARRA ORTEGA**  
**DIRECTOR**

---

**Esp. JORGE OMAR PORTILLA JAIMES**  
**DIRECTOR DEL PROGRAMA**

**JURADO CALIFICADOR:**

---

**Ph.D. JOSÉ ORLANDO MALDONADO BAUTISTA**

---

**Esp. JOSÉ DEL CARMEN GÉLVEZ ARAQUE**

---

**Dr. WILSON ALBERTO CONTRERAS ESPINOSA**

**PAMPLONA N. S. COLOMBIA**  
**FEBRERO de 2018**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer a Dios por la vida y por la oportunidad que me dio de cursar mis estudios universitarios, eterna gratitud y agradecimiento a mi familia en especial a mi madre Rubis Flórez Torres y a mi padre Germán Torres Beleño por apoyarme en mis sueños de ser un profesional, su amor y comprensión fueron de gran motivación, no hay palabras que puedan expresar mi gratitud hacia ellos, muchos agradecimientos a mis hermanos que han compartido todo estos largo tiempo con migo y por su apoyo a lo largo de mi carrera, su compañía fue y ha sido de gran importancia.

Quiero agradecer enormemente a mi director, el Ph.D. CARLOS ARTURO PARRA ORTEGA que, con su ayuda y paciencia, fue posible cumplir con la última etapa de los estudios de pregrado, a él toda la gratitud, Dios lo bendiga, a todos los profesores del programa, mil gracias por transmitir su conocimiento.

Por último, agradecer a todas las personas que colaboraron para la validación de este proyecto a ellos muchas gracias.

## RESUMEN

Este proyecto consiste en diseñar un modelo lógico y matemático que explique de manera aproximada la producción de huevos en reproductoras de la raza Lohmann Brown con base en la información experimental existente, cuyo producto final es la simulación de diversos escenarios de producción, implementados en simuladores académicos.

El objetivo principal del proyecto es la de construcción de un modelo que pronostique la producción de huevos en gallinas de cría mediante la combinación de metodologías basadas en sistemas de eventos discretos y en ciclos realimentados (Dinámica de Sistemas), para generar solución a los inconvenientes de experimentar con elevados números de reproductoras, disponer de un estimado de gastos en producción y reducir los tiempos requeridos para conocer y analizar los resultados que se esperan.

Partiendo del análisis de los diversos factores que afectan la producción de huevos en reproductoras, se desarrollará una representación bajo metodología Dinámica de Sistemas, que permita explicar y representar la dinámica del sistema de la producción de huevos en las gallinas. A partir de esta representación se llegará a un modelo con base en eventos discretos, que permita pronosticar y estudiar los resultados a través de las predicciones obtenidas de las variaciones de los factores y de los diferentes escenarios productivos (tipo de producción).

## **ABSTRACT**

This project consists of designing a logical and mathematical model that explains in an approximate way the production of incubating eggs in breeders of the Lohmann Brown breed based on the existing experimental information, whose final product is the simulation of diverse production scenarios, implemented in simulators academic.

The main objective of the project is the construction of a model that predicts the production of eggs in broiler chickens by combining methodologies based on discrete event systems and feedback cycles (system dynamics), to generate a solution to the inconveniences of experiment with high numbers of breeders, have an estimate of production expenses and reduce the time required to know and analyze the expected results.

Based on the analysis of the various factors that affect the production of eggs in breeders, a representation will be developed under System Dynamics methodology, which will explain and represent the dynamics of system of the production of eggs. From this representation it will arrive at a model based on discrete events, which allows it to forecast and study the results through the predictions obtained from the variations of the factors and the different production scenarios (type of production).

## TABLA DE CONTENIDO

Capítulo 1. ....	9
<b>Introducción</b> .....	9
1. Introducción .....	9
1.1. Planteamiento del Problema y Justificación .....	10
1.2. Objetivos .....	11
1.2.1. Objetivo General.....	11
1.2.2. Objetivos Específicos .....	11
1.3. Antecedentes .....	12
Capítulo 2. ....	17
<b>Marco Conceptual</b> . ....	17
2.1. Explotación Avícola .....	17
2.1.1. Avicultura.....	17
2.1.2. Gallinas Ponedoras.....	18
2.1.2.1. Lohmann Brown .....	18
2.1.2.1.1. Consumo de Alimento.....	18
2.1.2.1.2. Producción.....	21
2.1.2.1.3. Mortalidad.....	24
2.2. Dinámica de Sistemas.....	24
2.2.1. Sistemas .....	26
2.2.2. Dinámica .....	26
2.2.3. Diagramas Causales .....	26
2.2.3.1. Ciclo de Realimentación .....	27
2.2.3.1.1. Ciclo de Realimentación Negativa.....	27
2.2.3.1.2. Ciclo de Realimentación Positiva .....	28
2.2.3.2. Retrasos.....	29
2.2.3.3. Sistemas Complejos y Estructuras Genéricas.....	30
2.2.4. Diagrama de Forrester .....	32
2.3. Simulación a Eventos Discretos.....	35
2.3.1. Entornos de simulación.....	38
Capítulo 3. ....	40
<b>METODOLOGÍA</b> .....	40
3.1. Descripción del Sistema .....	40

3.1.1. Identificación de Variables.....	42
3.1.1.1. Variables del Subsistema Financiero.....	42
3.1.1.2. Variables del Subsistema de producción .....	43
3.1.1.3. Variables del Subsistema de Alimentación .....	44
3.1.1.4. Variables del Subsistema de Población.....	45
3.1.2. Hipótesis .....	46
3.2. Construcción del Diagrama Causal.....	46
3.2.1. Subsistema de Maduración y Ciclo de Vida de las Aves .....	46
3.2.2. Subsistema de Control de Inventario de Alimento.....	47
3.2.3. Subsistema de Producción y Financiero .....	48
3.3. Construcción del Diagrama de Forrester .....	49
Capítulo 4. ....	55
<b>Implementación.....</b>	<b>55</b>
4.1. Donde se implementó.....	55
4.2. Escenarios de Simulación .....	55
4.2.1. Escenario E1. Comportamiento de la población de Aves .....	61
4.2.2. Escenario E1. Comportamiento del Alimento disponible .....	62
4.2.3. Escenario E1: Producción y Financiero .....	66
Capítulo 5. ....	73
<b>Discusión de Resultados.....</b>	<b>73</b>
Conclusiones. ....	76
Referencias Bibliográficas. ....	78
Anexo 1.....	80
Anexo 2.....	80

## TABLA DE FIGURAS.

### CAPITULO 2

<b>Figura 2.1.</b> Gallina ponedora Lohmann Brown. (Tomada de [21]).	18
<b>Figura 2.2.</b> Curva de producción de huevos Lohmann Brown. (Tomada de [21]).	24
<b>Figura 2.3.</b> a) Representación de la Influencia positiva. b) Representación de la Influencia negativa.	26
<b>Figura 2.4.</b> Estructura de realimentación negativa en (a) y comportamiento correspondiente en (b). (Tomada de [24]).	28
<b>Figura 2.5.</b> Estructura de realimentación positiva en (a) y comportamiento correspondiente en (b). (Tomada de [24]).	29
<b>Figura 2.6.</b> Bucle de realimentación negativa con un retraso y comportamiento correspondiente. (Tomada de [24]).	30
<b>Figura 2.7.</b> Estructura formada por dos ciclos de realimentación, uno positivo y otro negativo. (Tomada de [24]).	31
<b>Figura 2.8.</b> Comportamiento sigmoidal de un proceso con dos bucles de realimentación, uno positivo y otro negativo. (Tomada de [24]).	31
<b>Figura 2.9.</b> Diagrama de Forrester básico.	32
<b>Figura 2.10.</b> Notación básica de los Diagramas de Forrester.	32
<b>Figura 2.11.</b> Dos variables auxiliares unidas por un canal de información.	33

### CAPITULO 3

<b>Figura 3.1.</b> Esquema básico de la metodología empleada en el presente proyecto.	40
<b>Figura 3.2.</b> Interacción de los subsistemas en una granja de producción avícola.	41
<b>Figura 3.3.</b> Diagrama causal del subsistema de población de aves.	47
<b>Figura 3.4.</b> Diagrama que detalla la maduración de aves de iniciación a levante.	47
<b>Figura 3.5.</b> Diagrama causal del subsistema de alimento.	48
<b>Figura 3.6.</b> Diagrama causal del subsistema financiero y producción.	49
<b>Figura 3.7.</b> Diagrama de Forrester de la fase de iniciación.	50
<b>Figura 3.8.</b> Diagrama de Forrester de la fase de desarrollo.	52
<b>Figura 3.9.</b> Diagrama de Forrester de la producción de huevos.	53
<b>Figura 3.10.</b> Diagrama de Forrester del subsistema financiero.	54

### CAPITULO 4

<b>Figura 4. 1.</b> Población de aves con una tasa de mortalidad del 1,9%.	62
<b>Figura 4.2.</b> Alimento disponible por etapa para un tope mínimo de alimento menor (Escenario E1).	64

<b>Figura 4.3.</b> Alimento disponible por etapa para un tope mínimo de alimento mayor (Escenario E2).	64
<b>Figura 4.4.</b> Alimento disponible por etapa para una compra deseada de alimento menor (Escenario E3).	65
<b>Figura 4.5.</b> Alimento disponible por etapa para una compra deseada de alimento mayor (Escenario E4).	65
<b>Figura 4.6.</b> Egresos generados por la compra de alimento usando un tope mínimo menor (Escenario E1).	66
<b>Figura 4.7.</b> Egresos generados por la compra de alimento usando un tope mínimo mayor (Escenario E2).	66
<b>Figura 4.8.</b> Egresos generados por la compra de alimento usando una compra deseada de alimento menor (Escenario E3).	67
<b>Figura 4.9.</b> Egresos generados por la compra de alimento usando una compra deseada de alimento mayor (Escenario E4).	67
<b>Figura 4.10.</b> Ingresos generados por la venta de huevos.	68
<b>Figura 4.11.</b> Tasa de postura diaria de huevos para una sola ave (Tomada de [25]).	69
<b>Figura 4.12.</b> Postura diaria de huevos según tasa de postura ( <b>Figura 4.11</b> ) y una población inicial de 1000 aves que disminuye de acuerdo a la tasa de muerte diaria.	69
<b>Figura 4.13.</b> Comportamiento diario del capital disponible usando un tope mínimo menor (Escenario E1).	70
<b>Figura 4.14.</b> Comportamiento diario del capital disponible usando un tope mínimo mayor (Escenario E2).	71
<b>Figura 4.15.</b> Comportamiento diario del capital disponible usando una compra deseada de alimento menor (Escenario E3).	71
<b>Figura 4.16.</b> Comportamiento diario del capital disponible usando una compra deseada de alimento mayor (Escenario E4).	72

## INDICE DE TABLAS

### CAPITULO 2

<b>Tabla 2.1.</b> Desarrollo del peso corporal y consumo de alimento con un programa de iluminación estándar. (Tomada de [21]).	19
<b>Tabla 2.2.</b> Meta de producción Lohmann Brown-Classic semana 19-44. (Tomada de [21]).	22
<b>Tabla 2.3.</b> Meta de producción Lohmann Brown-Classic semana 45-70. (Tomada de [21]).	23
<b>Tabla 2.4.</b> Meta de producción Lohmann Brown-Classic semana 71-95. (Tomada de [21]).	23

### CAPITULO 3

<b>Tabla 3.1.</b> Definición, relaciones y unidades de las variables del subsistema financiero.	43
<b>Tabla 3.2.</b> Definición, relaciones y unidades de las variables del subsistema de producción.	44
<b>Tabla 3.3.</b> Definición, relaciones y unidades de las variables del subsistema de alimentación.	45
<b>Tabla 3.4.</b> Definición, relaciones y unidades de las variables del subsistema de población.	45
<b>Tabla 3.5.</b> Descripción de las variables del Diagrama de Forrester de la fase de iniciación.	50
<b>Tabla 3.6.</b> Descripción de las variables del Diagrama de Forrester de la fase de desarrollo.	51

<b>Tabla 3.7.</b> Descripción de las variables del Diagrama de Forrester de la producción de huevos.....	52
<b>Tabla 3.8.</b> Descripción de las variables del Diagrama de Forrester del subsistema financiero.....	54

#### CAPITULO 4

<b>Tabla 4.1.</b> Valores iniciales de las variables del subsistema de producción y financiero en los distintos escenarios.....	56
<b>Tabla 4.2.</b> Valores iniciales de las variables del subsistema de control de inventario de alimento en los distintos escenarios. ....	59
<b>Tabla 4.3.</b> Valores iniciales de las variables del subsistema de maduración y ciclo de vida de las aves en los distintos escenarios. ....	60
<b>Tabla 4.4.</b> Valores iniciales para la duración de cada etapa de la producción avícola en los distintos escenarios.....	60
<b>Tabla 4.5.</b> Valores iniciales de las variables de análisis de comparación.....	61

#### CAPITULO 5

<b>Tabla 5.1.</b> Suma total de egresos y capital disponible por cada escenario. ....	74
<b>Tabla 5. 2.</b> Inventario de alimento para las distintas etapas de producción en los diferentes escenarios.....	75

# Capítulo 1.

## Introducción.

### 1. Introducción

La Dinámica de Sistemas es una técnica pensada para solucionar problemas concretos que involucran las interacciones entre los componentes internos de un sistema (variables). Permitiendo así utilizar este método en la producción avícola, la cual tiene gran influencia en áreas de producción agropecuaria, sirviendo de apoyo en la toma de decisiones en producciones intensivas principalmente.

La simulación a eventos discretos permite modelar situaciones de alto nivel de complejidad con funciones relativamente sencillas, de esta forma es posible construir modelos que representen la realidad en el nivel de detalle deseado. Dada la estructura de la simulación de eventos discretos es posible obtener todo tipo de estadísticas e indicadores relevantes a la operación modelada, inclusive se puede obtener información que muchas veces en los sistemas reales sería inimaginable tener.

La Dinámica de Sistemas complementa a la simulación de eventos discretos, ya que esta última requiere que durante la formulación del modelo se definan todas las variables, sus relaciones lógicas y los diagramas de flujo que describan en forma completa el modelo.

La industria avícola es un sector muy dinámico, puesto que suple en buena parte las necesidades de proteína animal a la población en general, sin importar su ubicación geográfica [1]. Siendo así importante emplear herramientas computacionales en el análisis de la producción y la viabilidad del sistema productivo que permitan que los productores obtengan anticipados unos resultados previos de la producción esperadas.

El presente proyecto tiene como fin, el estudio del comportamiento de las variables involucradas en el proceso de producción de huevos en la raza de aves Lohmann Brown [24], empleando la metodología de Dinámica de Sistemas Junto con la simulación a eventos discretos debido a que la producción avícola involucra varios ciclos de realimentación que hacen de esta técnica una de las herramientas ideal para ser aplicado en este proyecto.

## **1.1. Planteamiento del Problema y Justificación**

La industria avícola es un sector muy dinámico, puesto que suple en buena parte las necesidades de proteína animal a la población en general, sin importar su ubicación geográfica. Se han ensayado diversos enfoques para modelar la producción de granjas dedicadas a la producción avícola, basándose principalmente en métodos estadísticos o basados en eventos discretos, destacándose el trabajo de Paz [4], Ochoa y Ramirez [5], Revidatti et al [6].

La producción de huevos es un factor que varía y es medido en un alto número de aves durante una etapa productiva de al menos 40 semanas aproximadamente, lo cual hace que la tarea de experimentar con reproductoras sea una tarea que requiere de una alta inversión en manutención de las aves y un largo tiempo para analizar los resultados obtenidos. Sumado a todo esto también se debe poder controlar y variar los factores que afectan la producción de huevos, lo cual es conveniente modelar bajo un ambiente de simulación, ya que las simulaciones de modelos de producción animal permiten conocer mejor cómo funcionan los procesos, para optimizarlos y reducen los recursos invertidos en estudios de campo mediante la predicción de cambios de diferentes factores y escenarios productivos.

A toda esta problemática, surge la necesidad de crear un modelo que pronostique la producción de huevos en reproductoras mediante la combinación de metodologías basadas en sistemas de eventos discretos y en ciclos realimentados, buscando así saltar la barrera de realizar experimentos que impliquen gastos económicos, tiempo y sobre todo poder controlar las condiciones propias en la producción de huevos.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

- ❖ Construir un modelo que pronostique la producción de huevos en gallinas de cría mediante la combinación de metodologías basadas en sistemas de eventos discretos y en ciclos realimentados.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- ❖ Identificar los factores y escenarios que afectan la producción de huevos en gallinas de cría.
- ❖ Describir y relacionar los parámetros involucrados en el periodo productivo en gallinas de cría.
- ❖ Diseñar modelos con base en los criterios definidos en la literatura científica y estudios referentes a producción de huevos y supuestos sobre los fenómenos que son observados del sistema avícola, para explicar el comportamiento del mismo.
- ❖ Analizar la producción de huevos en gallinas de cría variando los factores flexibles a ser manejados dentro de un ambiente de simulación orientado a eventos discretos y variables realimentadas.
- ❖ Establecer diversos escenarios de simulación, con el fin de determinar las mejores condiciones de producción.

### 1.3. Antecedentes

En el trabajo realizado en el 2005 por los autores en [7] titulado “Modelación y simulación computacional usando sistemas de información geográfica con Dinámica de Sistemas aplicados a fenómenos epidemiológicos”, se presentan avances del proyecto de investigación, modelación y simulación computacional usando sistemas de información geográfica (SIG) con Dinámicas de Sistemas aplicados a fenómenos epidemiológicos con el cual se han abordado los principales modelos matemáticos usados en epidemiología (susceptible-infectado-recuperado: SIR, susceptible-infectado-recuperado-susceptible: SIRS, susceptible-infectado-susceptible: SIS), para su integración, especialización y simulación usando diferentes técnicas computacionales con el fin de modelar factores críticos en la propagación de epidemias. Para correr el modelo, se tomaron los datos de una epidemia de asma en el distrito de Manhattan de Nueva York, del tutorial de ARCGIS versión 8.3.

La metodología de la investigación, toma el modelo genérico de epidemiología matemática propuesto por Navarro Juárez para entender y analizar por medio de la dinámica de sistemas las fluctuaciones en las poblaciones de sanos, recuperados e infectados por polígono en una región de influencia. Una vez entendido el modelo de Navarro Juárez, se agregaron otras variables para afectar el comportamiento de la dinámica poblacional. Es así como en una segunda simulación, tomando las mismas condiciones iniciales del modelo anterior y adicionalmente considerando que la población de infectados pudiese disminuir debido a muertes por causa de la enfermedad, se incluyó una nueva población dentro del modelo designada “muertos”, proporcional a la población de infectados con constante de proporcionalidad denominada tasa de mortalidad (TM), de tal modo que para correr el modelo se supuso constante e igual 0,015.

A modo de conclusión La modelación de la propagación de epidemias por medio de la Dinámica de Sistemas es útil en cuanto permite interpretar la fluctuación de las poblaciones en el tiempo en una determinada zona. El modelo computacional propuesto usando SIG permite adicionalmente observar la fluctuación espacial de las poblaciones por polígonos en una región de influencia.

En el trabajo realizado en el 2009 por los autores en [8], el cual lleva por título “Diseño De Un Modelo Para La Evaluación Del Comportamiento Del Consumo De Carne Bovina Usando Dinámica De Sistemas”, tuvo como objetivo central desarrollar un modelo, y simular a través de instrumentos de Dinámica de Sistemas, el comportamiento de consumo de carne de bovino en Antioquia-Colombia.

El método empleado en la realización del modelo, hizo uso de matrices de impacto cruzado y la metodología sistémica. En la realización del modelo de consumo de carne bovina se realizó una fusión entre la metodología DELPHI y la metodología de Dinámica de Sistemas.

La aplicación de esta metodología tuvo dos fases; la primera comprendió el desarrollo y la elaboración de la matriz de impactos cruzados, MIC, donde se tuvo en cuenta toda la información obtenida de las encuestas, documentación y las entrevistas con los expertos, y la última fase consistió en analizar la información obtenida y desarrollar un modelo de Dinámica de Sistemas, lo que tuvo como resultado la elaboración de simulaciones del consumo de carne bovina.

Para la investigación se contó con datos estadísticos que suministraron las reuniones con los expertos, especialmente los niveles en que se encuentran las variables cualitativas; otros datos como el historial del consumo y los ingresos per. Cápita fueron suministrados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y la Federación de Ganaderos (FEDEGAN). En esta iteración se ejecutó un ajuste sobre las variables, y se definió cuáles de estas interactuaban como un inventario, como niveles, o como variables auxiliares, Además, se realizó el levantamiento de las ecuaciones en la herramienta de modelamiento seleccionada, VENSIM.

Luego de realizar las iteraciones, se evaluó el sistema, para observar el comportamiento del sistema real y el simulad, donde se demostró que, si se aumenta el número de reses producidas por el hatu ganadero, la demanda insatisfecha es menor, pudiendo aumentar así el consumo per. Cápita de carne bovina en la región de Antioquia.

A modo de conclusión, se logró desarrollar una Matriz MICMAC con quien se generaron los impactos positivos y negativos que cada variable tenía sobre las demás, y todas las demás sobre ella, de tal forma que se pudo establecer que las influencias de las variables no siempre son directamente proporcionales, esto fue de vital importancia para seleccionarlas variables que más influyen el consumo de carne y si dicha influencia es positiva o negativa sobre las demás.

El modelo muestra la influencia directa e indirecta que presentan algunos factores sobre el consumo de carne bovina en Antioquia, es decir, se estableció que no sólo el precio afecta el consumo, sino otras variables como la comercialización del producto, el consumo de los sustitutos, la oferta, el ingreso per cápita, entre otros. También se observan algunos factores que afectan la oferta de producto, como la innovación, la selección del tipo de raza, la tecnología del sector, entre otros.

Un tercer trabajo realizado en el 2011 [9] se propone la “Simulación Mediante Dinámica De Sistemas Del Efecto De La Gestión Del Conocimiento En La Industria Agroalimentaria”, en el que se desarrolla un modelo informático que permita simular el efecto de la GC (gestión del conocimiento) sobre la producción la IAA (Industria Agroalimentaria).

El método utilizado sigue la metodología de Dinámica de Sistemas, con el apoyo del software de gestión Vensim PLE v. 5.10. En la investigación el diseño del modelo se fundamentó en un cuidadoso análisis de los elementos del sistema, a través de un estudio empírico de la variable GC en las cuatro etapas de la cadena de suministro de la industria de la harina de maíz precocida, que son: productores, procesadores, distribuidores y proveedores de bienes y servicios, en un país importador neto de alimentos como Venezuela.

La importancia de este estudio radica sobre el problema en estudio consiste la brecha existente entre la demanda o producción objetivo y la producción agroalimentaria, la variable Diferencia de producción se seleccionó por ser cuantitativa, tangible y continua, que ha sido medida en Toneladas Métricas (TM). En cuanto a la variable Gestión del conocimiento su medición se realizó a través de la magnitud Horas (Hr), en concordancia con las exigencias de la herramienta de simulación utilizada

Finalmente se concluyó que la Dinámica de Sistemas representa una herramienta poderosa, para simular el efecto de la gestión de conocimiento sobre la producción agroalimentaria, en mercados locales. En el modelo las variables relacionadas a la gestión estratégica del conocimiento tiene gran influencia sobre la productividad del conocimiento, sin embargo su sólo efecto no es suficiente para equilibrar el sistema, y por último se recomienda desarrollar nuevos modelos informáticos de GC en las CS agroalimentarias, en los cuales la cuota de mercado sea dinamizada por la variable prestigio de calidad, así como también incorporar al modelo la magnitud de costos y beneficios, es decir, se debe aproximar el modelo a la realidad productiva de la IAA.

Núñez 2014 [10] realizó la propuesta de: “Dinámica espacio-temporal de la pesca artesanal de Corvina, *Micropogonias furnieri* en la costa uruguaya”. El objetivo central del trabajo consistió en la construcción de un modelo para la simulación dinámica de sistemas con el Software Vensim PLE, para determinar que influencias ambientales y antrópicas están actuando para que se genere el fenómeno migratorio de esta especie, que se observa acompañado de la actividad pesquera subyacente, o si se trata de características comportamentales propias que hacen a la historia de vida de la especie. La construcción de este modelo de simulación también busca representar la explotación de extracción por parte de la flota artesanal costera del recurso “Corvina”, para sugerir medidas para la toma de decisiones en las políticas de conservación del mismo para la zona costera del Río de la Plata y el frente oceánico.

La importancia de realizar este estudio radica en que actualmente hay una visión unánime en la gran mayoría de los investigadores del tema, que los recursos pesqueros se encuentran en un activo declive ya sea por fenómenos de cambio climático, efectos ambientales locales y sobreexplotación extractiva.

El método consistió en utilizar los datos de la información obtenida de informes publicados y tendencias de capturas para el periodo del año 2005 al 2013, así como el uso de estimadores económicos de exportación brindados por Economía Pesquera de la Dirección Nacional de Recursos Acuáticos (DINARA) y Boletines pesqueros y costos operativos y manutención de barcas brindados por los propios pescadores. Se adaptó la propuesta realizada como el ejercicio práctico otorgado el trabajo cuyo título es “La pesca del Camarón en Campeche”, utilizando valores ficticios considerando información subestimada.

Los resultados obtenidos del modelo, generado a partir de datos inferidos para la simulación con el Software Vensim PLE utilizando los datos de pesca artesanal costera, brindaron elementos robustos útiles para la evaluación de recursos pesqueros y económicos para la zona costera uruguayaya del Río de la Plata y del Océano Atlántico.

La disminución paulatina de la población a medida que la flota costera actúa, hay que considerar que la población inicial es un dato brindado por predicciones de evaluación promedio anual, otros factores que demuestran los cambios son que el recurso corvina también posee poblaciones migratorias que dependen de rangos de temperatura y salinidad según estén actuando la corriente cálida de Brasil o la corriente fría de Malvinas.

Las oscilaciones en las tendencias inferidas de capturas artesanales costeras del grupo de especies de *Micropogonias furnieri* para el periodo 2005-2013 varían con picos de aumento en 2007 y 2010 y bajando en 2008-2009 efectos producidos quizás por eventos climáticos, variaciones económicas o influencias antrópicas que actúen separado o en conjunto, por eso se destaca la importancia de profundizar en diferentes estudios de evaluación y proyección complementando técnicas estadísticas clásicas extendiendo la línea de tiempo.

Kasiak y Godoy 2014 [11], el cual lleva por título “Simulación de Proyectos de Software desarrollados con XP: Subsistema de Desarrollo de Tareas”. En este trabajo se planteó la construcción de un Modelo de Simulación Dinámico de Gestión de proyectos de desarrollo de Software que utilizan XP, con el objetivo de analizar el efecto que tiene el uso de las prácticas de XP en la gestión de proyectos de desarrollo de software.

El modelo permite a los administradores de proyectos, evaluar el impacto de sus decisiones de gestión sobre el mismo, a lo largo del tiempo, como así también posibilita comparar los resultados de sus decisiones, ofreciendo datos suficientes para elegir la mejor opción a ser aplicada en el sistema real. Esto es posible ya que el modelo habilita a los administradores a realizar cambios en variables críticas del proyecto, como recursos, tiempo, tareas a desarrollar, etc., y observar las repercusiones de dichos cambios en el resto del proyecto, y/o más importante, sin comprometer la ejecución real del mismo.

El modelo presentado en este trabajo corresponde al subsistema de desarrollo de tareas, uno de los más importantes. Este modelo se ha validado con datos de dos proyectos reales. Además, se han diseñado y ejecutado una serie de experimentos sobre el mismo y se ha realizado el análisis de sensibilidad de sus variables más importantes. El modelo construido

sirve como ayuda a administradores de proyectos novatos, permitiéndoles conocer de antemano las consecuencias de sus decisiones.

Para la construcción del modelo se utilizó el software Vensim PLE 5.4c (Versión Académica) y se han seguido las etapas de la Metodología de Dinámica de Sistemas, de esta forma, en la fase de conceptualización se ha construido el diagrama causal, incluyendo las variables que representan un proyecto de software XP y sus interrelaciones. Luego, en la Fase de Formulación se ha traducido el diagrama anteriormente mencionado al diagrama de Forrester, el cual ha sido dividido en subsistemas conservativos. Finalmente, en la Fase de Evaluación se han realizado las corridas de validación y experimentales del modelo.

La validación del modelo realizado con los dos proyectos como casos de “entrenamiento” fue positiva, ya que el mismo se comportó de acuerdo con los datos reales. Finalmente, luego de validar el modelo, ejecutarlo bajo diferentes escenarios y realizar el análisis de sensibilidad, se ha llegado a la conclusión de que el mismo cumple con sus objetivos y puede ser utilizado como herramienta para evaluar diferentes decisiones de gestión.

# Capítulo 2.

## Marco Conceptual.

Dado que la mira central de este análisis estará puesta en la creación de un modelo como proyecto de abordaje para estudiar la dinámica del sistema de producción de huevos en reproductoras, será necesario plantear algunos parámetros que sirvan de ejes conceptuales sobre los que apoyar la lectura interpretativa de dicho proceso productivo. Para empezar, conoceremos los conceptos propios de la explotación avícola y entenderemos el concepto de Dinámica de Sistemas.

### 2.1. Explotación Avícola

El huevo de gallina constituye uno de los alimentos más completos para el ser humano [19]. La industria avícola con sus diferentes sectores y áreas de desempeño en el ámbito empresarial, técnico, comercial y de servicios, se ubica en el referente macroeconómico como uno de los renglones de mayor importancia y crecimiento en el sector pecuario [18][19].

La industria avícola ha sido la industria pecuaria de más alto desarrollo en los últimos años debido al mejoramiento genético y la especialización cae más fuerte en las líneas productivas para huevo y carne. Esta industria refleja una dinámica en constante crecimiento, convertida en una fuente que provee proteína animal a un bajo costo. Hoy este subsector hace parte de los renglones estratégicos que le permiten a muchos países mantener la seguridad agroalimentaria con una gran generación de valor y empleo en la cadena productiva que lo compone [18].

#### 2.1.1. Avicultura

La avicultura es una gran industria dedicada a la crianza y al cuidado de las aves, así como también el desarrollo de su explotación comercial; bajo esta denominación se incluye el cuidado y explotación de distintas especies avícolas, como son las gallinas, pavos, patos, gansos, codornices, faisanes, aves canoras y hasta especies consideradas silvestres.

## 2.1.2. Gallinas Ponedoras

Las gallinas ponedoras tienen la capacidad genética para producir un gran número de huevos, con un tamaño promedio y pueden lograr buen peso del huevo tempranamente en el ciclo de postura. La madurez sexual a la edad correcta, con el tamaño y la condición corporal deseados, da como resultado un alto pico de producción.

Las razas y líneas de gallinas ponedoras más utilizadas son: Lohmann Brown, Isa Brown, Hy Line Brown y la DeKalb Warren.

### 2.1.2.1. Lohmann Brown

Gallinas con fortaleza en la producción y postura de huevos de gran tamaño, con cáscara marrón, alta capacidad de adaptación a diferentes climas y recuperación rápida frente a condiciones de salud desfavorables [20]. En la Figura 2.1 se muestra un ejemplar de la raza de gallinas ponedoras Lohmann Brown.



*Figura 2.1. Gallina ponedora Lohmann Brown. (Tomada de [21]).*

#### 2.1.2.1.1. Consumo de Alimento

Para cada raza de pollas existen tablas de consumo de alimento y de peso suministradas por las respectivas empresas incubadoras. Estos planes son tentativos y alrededor de ellos se puede basar el programa de control de alimento.

El consumo de alimento es principalmente afectado por:

- ❖ Peso corporal

- ❖ Índice de postura
- ❖ Temperatura de alojamiento: Las bajas temperaturas incrementan los requerimientos de mantenimiento de energía.
- ❖ Condición del plumaje: El plumaje deficiente debido a errores de manejo o mala nutrición incrementan los requerimientos de mantenimiento de energía.
- ❖ Textura del alimento: La textura gruesa incrementa y la fina disminuye el consumo de alimento.
- ❖ Nivel de energía: Cuanto más alto es el nivel de energía más bajo es el consumo y viceversa.
- ❖ Desbalances nutricionales: La gallina tratará de compensar por cualquier déficit de nutrientes incrementando el consumo, especialmente en la etapa final de la producción.

El consumo de alimento las primeras 20 semanas es de 7.4 a 7.8 kg. En la etapa de postura el consumo de alimento es de 110 a 120 g/día, en promedio cada ave consume 115 g/día con una conversión alimenticia de 2.0-2.1 kg/kg masa de huevo [21]. El consumo diario de las aves Lohmann Brown se presenta a continuación en la Tabla 2.1.

Edad en semanas	Peso Corporal (g)		KJ**	Consumo***		Alimento*
	Promedio	Rango	Ave/Día	g/Ave/Día	Acumulado	
1	75	73-77	132	11	77	Crecimiento/Iniciador
2	130	126-134	204	17	196	
3	195	189-201	264	22	350	
4	275	267-283	319	28	546	
5	367	356-378	399	35	791	
6	475	461-489	467	41	1078	
7	583	566-600	536	47	1407	
8	685	664-706	581	51	1764	
9	782	759-805	627	55	2149	
10	874	848-900	661	58	2555	Desarrollo
11	961	932-990	684	60	2975	
12	1043	1012-1074	730	64	3423	
13	1123	1089-1157	741	65	3878	
14	1197	1161-1233	775	68	4354	
15	1264	1226-1302	798	70	4844	
16	1330	1290-1370	809	71	5341	Pre-postura
17	1400	1358-1442	821	72	5845	
18	1475	1431-1519	855	75	6370	
19	1555	1508-1602	923	81	6937	
20	1640	1591-1689	1060	93	7588	

**Tabla 2.1.** Desarrollo del peso corporal y consumo de alimento con un programa de iluminación estándar. (Tomada de [21]).

Durante el periodo de levante (Cría-recría) es esencial una dieta equilibrada y nutritiva para lograr que la pollita se desarrolle hasta ser una pollona madura (pollita recriada). Las pollitas y pollonas deben alimentarse con una dieta de granulometría gruesa con un alimento tipo harina homogénea. Una alta proporción de componentes muy finos o una estructura muy gruesa pueden conducir a una alimentación selectiva con un aporte desequilibrado de nutrientes. Una dieta con una consistencia extremadamente fina reduce el consumo de alimento y puede resultar en un aporte deficiente de ciertos nutrientes.

Durante las diferentes fases de crecimiento de las pollitas, deben utilizarse diferentes alimentos con contenidos de nutrientes cuyas características cualitativas satisfagan los requerimientos cambiantes de las aves. Las dietas están correlacionadas con los requerimientos nutricionales y el desarrollo del peso en cada fase del crecimiento [21]. El uso de un iniciador se recomienda sino se logran los pesos recomendados alimentando con alimento de crecimiento o si se espera un bajo consumo diario. El cambio a desarrollo solo debe hacerse cuando se haya logrado el peso corporal recomendado en la Tabla 2.1. Durante esta fase son beneficiosos una reducida densidad de nutrientes y un incremento del contenido de fibra cruda (5-6%) para mejorar la capacidad de ingesta. El alimento de pre-postura contiene casi el doble de calcio que el alimento de desarrollo, así como también mayores niveles de proteína y aminoácidos. Es beneficioso proporcionar este alimento alrededor de 10 días antes del inicio de postura planificado. Esta dieta mejora la uniformidad del lote suministrando un mejor aporte de nutrientes a las aves de madurez tardía y permitiendo a las aves de madurez temprana obtener suficiente calcio para la formación de cáscara de los primeros huevos.

El alimento de pre-postura debe utilizarse durante un corto periodo de tiempo antes de que un lote reciba alimento de Fase 1. Esto conduce a una suave transición del alimento de desarrollo (bajo en calcio y bajo en densidad de nutrientes) a una dieta con altos niveles de calcio y de nutrientes, y a la vez ayuda a evitar la frecuente falta de apetito o bajo consumo al inicio de la producción. Normalmente, el alimento de pre-postura contiene 2,0-2,5 % de calcio, esto es demasiado para un típico alimento de levante (cría-recría) pero no suficiente para un ave que inicia su producción de huevos. Desde un punto de vista nutricional se considera un alimento de “compromiso” y no un alimento “optimo”. No obstante, es provechoso utilizar alimento de pre-postura por un corto periodo de tiempo. Su uso correcto puede mejorar la uniformidad de un lote de pollonas. Es especialmente beneficioso para lotes con muy baja uniformidad y también ayuda al desarrollo del metabolismo del calcio en el hueso medular. Como se trata de un alimento de “compromiso” ideado para un periodo corto de transición, no puede suministrar los requerimientos de un ave en plena postura, por lo tanto, no debe utilizarse cuando la logística y la correcta sincronización de las entregas de alimento no funcionan correctamente.

### 2.1.2.1.2. Producción

Son varios los factores que pueden influenciar el arranque de postura en las ponedoras comerciales. En primer lugar, las líneas genéticas tienen algunas diferencias en su diseño, ciertas estirpes han sido seleccionadas buscando precocidad, otras por el contrario (como Lohmann) se han enfocado en estructurar un ave con muy buena persistencia al final del ciclo y en este caso el inicio de postura no es tan temprano como en el caso anterior. Otro aspecto a considerar es el peso corporal de las pollonas durante el levante, ya que las ponedoras tienen etapas bien definidas de conformación y desarrollo y, por lo tanto, es prioritario que las aves alcancen los pesos establecidos por la casa genética desde muy temprano, ya que las primeras semanas son claves para obtener un adecuado desarrollo de la futura ponedora. Otros factores que pueden influir son: bajo consumo de nutrientes en la madurez sexual, desafíos sanitarios al final del levante, planes vacúnales muy congestionados y con muchos antígenos inyectables, levantes en piso para producción en jaula, traslados tardíos para los galpones de producción, entre otros [25].

El periodo de postura de las aves comprende en promedio 77 semanas, iniciando desde la semana 19 de su ciclo de vida y finalizando en la semana 95, fecha en la que la producción comienza a decaer cerca del 65% de la producción semanal (7 huevos a la semana); es por ello que deben sacrificarse las aves debido a que la relación costo-productividad no es favorable para el avicultor. El pico máximo de producción, se encuentra en un rango del 93 al 95% que corresponde al periodo de tiempo de la semana 25 a la semana 43. En la Tabla 2.2, Tabla 2.3 y Tabla 2.4 se pueden apreciar estos porcentajes de producción representados en la Figura 2.2, donde se muestra el porcentaje de la producción diaria por ave en semanas.

Edad en semanas	No. De huevos por A.A.	Postura %		Peso de huevo g		Masa de huevos	
		Por A.A.	Por A.D.	En Semana	Acumulado	g/A.D.	Kg/A.A.
19	0,7	10	10	45	45	4,5	0,03
20	3,9	45	45	47,5	47	21,4	0,18
21	8,4	65	65,1	50	48,6	32,6	0,41
22	14	80	80,2	52,5	50,2	42,1	0,7
23	20,2	88	88,4	54,7	51,6	48,3	1,04
24	26,6	91,5	92	56,5	52,8	52	1,4
25	33	92,5	93,1	57,9	53,8	53,9	1,78
26	39,6	93,1	93,8	58,9	54,6	55,2	2,16
27	46,1	93,5	94,3	59,7	55,3	56,3	2,55
28	52,7	93,8	94,7	60,4	56	57,2	2,95

29	59,2	94	94,1	61	56,5	57,9	3,35
30	65,8	94,1	95,2	61,4	57	58,4	3,75
31	72,4	94,1	95,3	61,7	57,4	58,8	4,16
32	79	94,1	95,3	62	57,8	59,1	4,57
33	85,6	94	95,3	62,3	58,2	59,4	4,98
34	92,2	93,8	95,2	62,6	58,5	59,6	5,39
35	98,7	93,6	95,1	62,9	58,8	59,8	5,8
36	105,2	93,4	95	63,2	59	60	6,21
37	111,8	93,1	94,8	63,4	59,3	60,1	6,63
38	118,3	92,7	94,5	63,7	59,5	60,2	7,04
39	124,7	92,4	94,3	63,9	59,8	60,2	7,45
40	131,2	92	94	64,2	60	60,3	7,87
41	137,6	91,7	93,7	64,4	60,2	60,3	8,28
42	144	91,3	93,5	64,6	60,4	60,3	8,69
43	150,3	91	93,2	64,7	60,6	60,4	9,1
44	156,7	90,6	92,9	64,9	60,7	60,3	9,52

**Tabla 2.2.** Meta de producción Lohmann Brown-Classic semana 19-44. (Tomada de [21]).

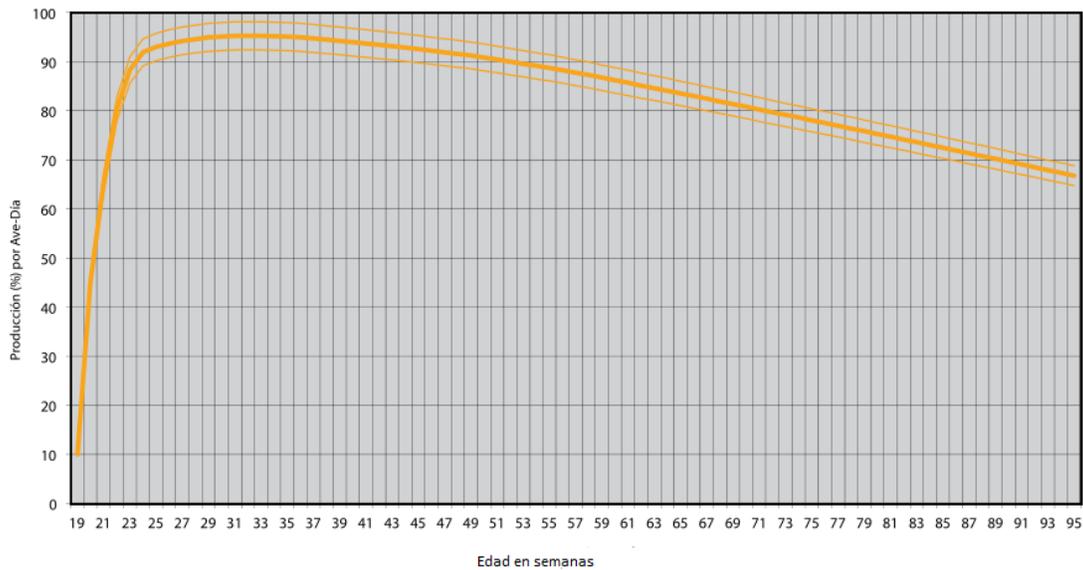
Edad en semanas	No. De huevos por A.A.	Postura %		Peso de huevo g		Masa de huevos	
		Acumulado	Por A.A.	Por A.D.	En Semana	Acumulado	g/A.D.
45	163	90,2	92,6	65,1	60,9	60,3	9,93
46	169,3	89,8	92,3	65,3	61,1	60,3	10,34
47	175,5	89,4	91,9	65,5	61,2	60,3	10,75
48	181,8	89	91,6	65,7	61,4	60,2	11,16
49	188	88,6	91,3	65,8	61,5	60,1	11,57
50	194,1	88,1	90,9	66	61,7	60	11,97
51	200,2	87,6	90,5	66,1	61,8	59,8	12,38
52	206,3	87,1	90	66,3	61,9	59,7	12,78
53	212,4	86,6	89,6	66,4	62,1	59,6	13,18
54	218,4	86,1	89,2	66,5	62,2	59,4	13,59
55	224,4	85,6	88,8	66,6	62,3	59,2	13,99
56	230,4	85	88,3	66,7	62,4	58,9	14,38
57	236,3	84,5	87,8	66,8	62,5	58,7	14,78
58	242,2	83,9	87,3	66,9	62,6	58,5	15,17
59	248	83,3	86,8	67	62,8	58,2	15,56
60	253,8	82,7	86,3	67,1	62,9	57,9	15,95
61	259,5	82,1	85,7	67,2	63	57,6	16,34

62	265,2	81,5	85,2	67,3	63	57,4	16,72
63	270,9	80,9	84,6	67,4	63,1	57,1	17,1
64	276,5	80,3	84,1	67,5	63,2	56,8	17,48
65	282,1	79,7	83,6	67,6	63,3	56,5	17,86
66	287,6	79,1	83	67,7	63,4	56,2	18,24
67	293,1	78,5	82,5	67,8	63,5	56	18,61
68	298,6	77,9	81,9	67,9	63,6	55,7	18,98
69	304	77,3	81,4	68	63,6	55,4	19,35
70	309	76,7	80,8	68,1	63,7	55,1	19,71

**Tabla 2.3.** Meta de producción Lohmann Brown-Classic semana 45-70. (Tomada de [21]).

Edad en semanas	No. De huevos por A.A. Acumulado	Postura %		Peso de huevo g		Masa de huevos	
		Por A.A.	Por A.D.	En Semana	Acumulado	g/A.D. En Semana	Kg/A.A. Acumulado
71	314,7	76,1	80,3	68,2	63,8	54,8	20,08
72	320	75,5	79,7	68,3	63,9	54,5	20,44
73	325,2	74,9	79,2	68,3	63,9	54,1	20,8
74	330,4	74,3	78,6	68,4	64	53,8	21,15
75	335,6	73,7	78,1	68,4	64,1	53,5	21,51
76	340,7	73,1	77,5	68,5	64,2	53,1	21,86
77	345,8	72,5	77	68,5	64,2	52,8	22,21
78	350,8	71,9	76,4	68,6	64,3	52,4	22,55
79	355,8	71,3	75,9	68,6	64,3	52,1	22,89
80	360,8	70,7	75,3	68,7	64,4	51,7	23,23
81	365,7	70,1	74,8	68,7	64,5	51,4	23,57
82	370,5	69,5	74,2	68,8	64,5	51	23,91
83	375,4	68,9	73,6	68,8	64,6	50,7	24,24
84	380,2	68,3	73,1	68,9	64,6	50,3	24,57
85	384,9	67,7	72,5	68,9	64,7	50	24,89
86	389,6	67,1	71,9	69	64,7	49,6	25,22
87	394,2	66,5	71,4	69	64,8	49,3	25,54
88	398,9	65,9	70,8	69,1	64,8	48,9	25,86
89	403,4	65,3	70,2	69,1	64,9	48,6	26,17
90	408	64,7	69,7	69,2	64,9	48,2	26,49
91	412,5	64,1	69,1	69,2	65	47,8	26,8
92	416,9	63,5	68,5	69,3	65	47,5	27,11
93	421,3	62,9	67,9	69,3	65,1	47,1	27,41
94	425,7	62,3	67,4	69,4	65,1	46,8	27,72
95	430	61,7	66,8	69,4	65,2	46,4	28,02

**Tabla 2.4.** Meta de producción Lohmann Brown-Classic semana 71-95. (Tomada de [21]).



**Figura 2.2.** Curva de producción de huevos Lohmann Brown. (Tomada de [21]).

### 2.1.2.1.3. Mortalidad

Hasta la fecha, existen pocos estudios que traten las causas de mortalidad en gallinas ponedoras bajo las actuales condiciones de producción intensiva [22]. Una mayor información sobre las causas que provocan mortalidad en las gallinas ponedoras contribuiría a reducir las pérdidas económicas y a mejorar el bienestar de las aves.

Con base en las cifras nacionales podemos decir que la mortalidad de la pollita Lohmann Brown la primera semana, puede llegar hasta el 0,3%. El porcentaje aceptable de mortalidad total en el levante varía mucho de una región a otra, de una empresa a otra, incluso de una granja a otra. Como punto de referencia podemos tener el promedio nacional, que para las Lohmann Brown está por el 2%. Sin embargo, hay compañías que no superan el 1,5% [25].

## 2.2. Dinámica de Sistemas

Dinámica de Sistemas es un nombre propio que designa un determinado método de construcción de modelos de sistemas sociales susceptibles de ser simulados por ordenador [23]. El desarrollo de este método se debe al trabajo de J. W. Forrester del Instituto Tecnológico de Massachussets, el cual por primera vez utilizó técnicas pertenecientes a las disciplinas de ingeniería automática para el estudio de procesos sociales y económicos. Al

igual que ocurre en la automática, la búsqueda de los ciclos de realimentación que operan dentro de un sistema y la forma en que estos determinan el comportamiento dinámico del mismo constituye la piedra angular sobre la que descansa la Dinámica de Sistemas [23].

La Dinámica de Sistemas es una metodología ideada para resolver problemas concretos. Inicialmente se concibió para estudiar los problemas que se presentan en determinadas empresas en las que los retrasos en la transmisión de información, unido a la existencia de estructuras de realimentación, da lugar a modos de comportamiento indeseables, normalmente de tipo oscilatorio [24].

Un aspecto notable del método es su enorme capacidad descriptiva [23]. Los modelos se representan mediante unos diagramas conocidos como diagramas de flujo los cuales han alcanzado una amplia difusión y son empleados aun por aquellos que no mencionan explícitamente la Dinámica de Sistemas. Un diagrama de flujo es una descripción gráfica del sistema en estudio construida de acuerdo a unas determinadas reglas. La claridad de estos diagramas en cuanto representación de la estructura global del sistema y de las relaciones entre las variables que lo constituyen es tan sorprendente que los modelos pueden ser presentados a no especialistas y ser inmediatamente entendidos.

En los ámbitos en los que la Dinámica de Sistemas intenta construir modelos de funcionamiento no suele haber leyes de comportamiento perfectamente establecidas. Los sistemas objeto de su estudio no están descritos por leyes matemáticas de carácter cuantitativo preciso y aceptadas unánimemente por la comunidad científica [23].

No obstante, para que la Dinámica de Sistemas decida ocuparse de un problema, se requiere que, aun cuando no se conozcan leyes precisas que lo describan, los elementos que integran el sistema problemático posean atributos cuantificables y puedan llegar a ser establecidas relaciones funcionales de naturaleza cuantitativa entre dichos atributos [23].

Los campos de aplicación de la Dinámica de Sistemas son muy variados. Durante sus más de 30 años de existencia se ha empleado para construir modelos de simulación informática en casi todas las ciencias, tales como biología, economía, gestión empresarial, urbanismo, psicología y muchos otros. Más allá de las aplicaciones concretas que acabamos de mencionar, la difusión de estas técnicas ha sido muy amplia, y en nuestros días se puede decir que constituye una de las herramientas sistémicas más sólidamente desarrolladas y que mayor grado de aceptación e implantación han alcanzado [23] [24].

### 2.2.1. Sistemas

Un sistema se entiende como una unidad cuyos elementos interaccionan juntos, ya que continuamente se afectan unos a otros, de modo que operan hacia una meta común. Es algo que se percibe como una identidad que lo distingue de lo que la rodea, y que es capaz de mantener esa identidad a lo largo del tiempo y bajo entornos cambiantes [24].

### 2.2.2. Dinámica

El término dinámica lo empleamos por oposición a estática, y podemos con él expresar el carácter cambiante de aquello que adjetivamos con ese término. Al hablar de la dinámica de un sistema nos referimos a que las distintas variables que podemos asociar a sus partes sufren cambios a lo largo del tiempo, como consecuencia de las interacciones que se producen entre ellas [24].

### 2.2.3. Diagramas Causales

La variación en el tiempo del valor cuantitativo atribuido a cada elemento (variable), las influencias buscadas son las que su manifestación consista en que una variable aumente o disminuya en función de otra, de la cual depende, de forma que lo que ocurre en uno afecta de manera inmediata a la otra.

Establecer un grafo en el que aparezcan representados todos los elementos que componen el modelo junto con sus relaciones supone un paso importante en la definición de la estructura del mismo. Un grafo de esas características se conoce como diagrama causal o de influencias [23]. A veces, cuando el sentido de la influencia es conocido, se suele incluir un signo más o un signo menos que hace alusión a una influencia del mismo sentido o de sentido opuesto según el caso. Por ejemplo, si la densidad de coches aumenta o disminuye cabe esperar que el número de accidentes también aumente o disminuya respectivamente. Existe, por tanto, una influencia en el mismo sentido. Por el contrario, las ventas de coches seguramente dependerán del precio de los mismos pero la influencia será esta vez de sentido opuesto. En la Figura 2.3 se muestran estos dos ejemplos.



**Figura 2.3.** a) Representación de la Influencia positiva. b) Representación de la Influencia negativa.

### 2.2.3.1. Ciclo de Realimentación

Una cadena circular o cerrada de influencias, es lo que se conoce como un ciclo de realimentación, que es un elemento básico en la estructura del sistema.

El tipo de problemas en los que habitualmente trabaja la Dinámica de Sistemas se caracteriza porque en éstos siempre aparecen relaciones causales estructuradas en ciclos cerrados. Una acción ejecutada por o sobre un elemento del bucle se propaga por el mismo de manera que tarde o temprano esa acción repercute sobre sus propios valores futuros. Conviene distinguir dos tipos de ciclos realimentados, ciclos positivos y negativos. Positivos son aquellos en los que una variación en un elemento se ve reforzada por las influencias mutuas entre los elementos. Por el contrario, en los lazos negativos una variación en cualquiera de sus elementos tiende a ser contrarrestada por las influencias en sentido contrario que se generan en el lazo.

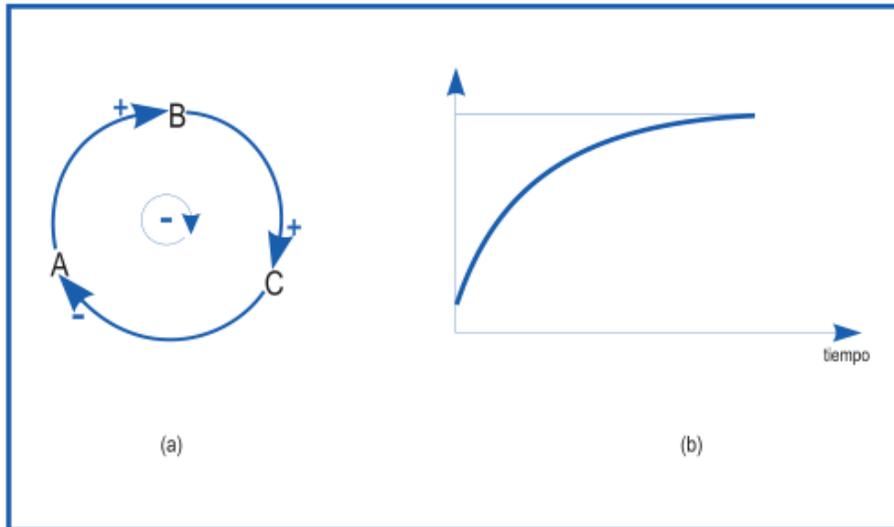
Desde el punto de vista de la causalidad un modelo está siempre estructurado como un conjunto de lazos positivos y negativos interconectados entre sí, y su comportamiento dinámico dependerá de cómo se vaya produciendo la alternancia en el dominio entre la tendencia a crecer o decrecer de los unos y la tendencia al equilibrio de los otros [23] [24].

#### 2.2.3.1.1. Ciclo de Realimentación Negativa

Ciclo de realimentación formado por una cadena circular cerrada de influencias, un número impar de las cuales es negativa. Un sistema dotado de realimentación negativa tiende a mantener invariantes los valores de sus variables produciendo equilibrio, y a restituirlos cuando han sido modificados por efecto de una perturbación exterior [23] [24].

Considerando el bucle de la Figura 2.4, en el que los elementos se han representado, de forma general, mediante las letras **A**, **B** y **C**. Supongamos que uno cualquiera de ellos, por ejemplo, el **B** se incrementa. En virtud de las relaciones de influencia, el incremento de **B** determinará el de **C**, ya que la relación de influencia correspondiente es positiva. A su vez, el incremento de **C** determinará el decrecimiento de **A**, ya que así lo determina el carácter negativo de la influencia. El decrecimiento de **A** dará lugar al de **B**, pues la relación es positiva. Por tanto, el incremento inicial de **B** se «devuelve», a lo largo de la cadena de realimentación, como un decrecimiento; es decir, la propia estructura de realimentación tiende a anular la perturbación inicial, que era un incremento, generando un decremento. De este modo se comprende que los bucles de realimentación negativa son bucles estabilizadores, que tienden a anular las perturbaciones exteriores. El efecto de un bucle de

realimentación negativa es, por tanto, el tratar de conseguir que las cosas continúen como están, que no varíen. Son bucles que estabilizan los sistemas.

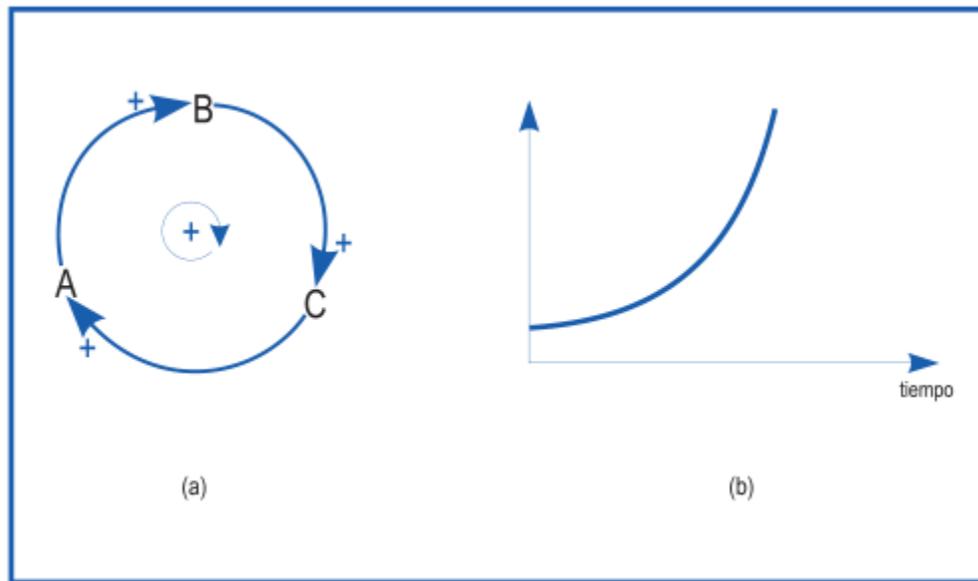


**Figura 2.4.** Estructura de realimentación negativa en (a) y comportamiento correspondiente en (b). (Tomada de [24]).

### 2.2.3.1.2. Ciclo de Realimentación Positiva

Bucle de realimentación formado por una cadena circular de influencias todas ellas positivas, o si las hay negativas su número es par, de modo que se compensen entre ellas. Su comportamiento está caracterizado por el crecimiento sin límites de toda perturbación [24].

En la Figura 2.5a se representa de forma esquemática, mediante las letras **A**, **B** y **C**, un bucle de esta naturaleza. Con ayuda de este diagrama se puede analizar, de forma general, el comportamiento que genera este bucle. Si cualquiera de sus elementos sufre una perturbación, ésta se propaga, reforzándose, a lo largo del bucle. En efecto, si **A** crece, entonces, en virtud del signo de la influencia, lo hará **B**, lo que a su vez determinará el crecimiento de **C** y, de nuevo, el de **A**. Por lo tanto, la propia estructura del sistema determina que el crecimiento inicial de **A** «vuelva» reforzado a **A**, iniciándose de este modo un proceso sin fin que determinará el crecimiento de **A** (Figura 2.5b). Este efecto se conoce vulgarmente como «círculo vicioso» o «bola de nieve». El cambio se amplifica produciendo más cambio. Se trata, por tanto, de una realimentación que amplifica las perturbaciones y que, por tanto, inestabiliza al sistema, por lo que su efecto es contrario al de la realimentación negativa. [24].

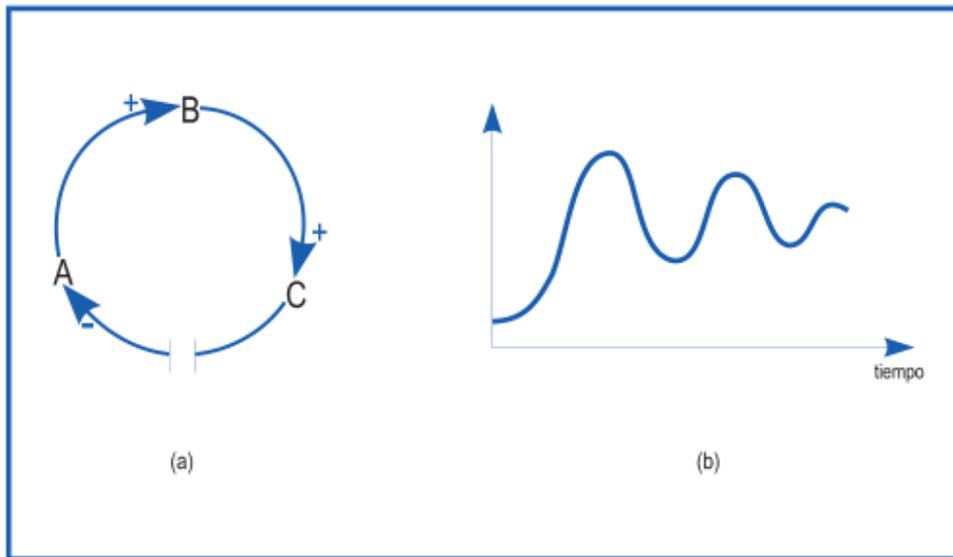


**Figura 2.5.** Estructura de realimentación positiva en (a) y comportamiento correspondiente en (b). (Tomada de [24]).

### 2.2.3.2. Retrasos

En algunos casos interesa, además, distinguir entre influencias que se producen de forma más o menos instantánea e influencias que tardan un cierto tiempo en manifestarse. En este último caso, se tienen influencias a las que se asocian retrasos. En el diagrama de influencias, si **A** influye sobre **B**, y esta influencia tarda un cierto tiempo en manifestarse, entonces se añaden dos trazos sobre la flecha correspondiente. En la Figura 2.6a se muestra un bucle de realimentación negativa en el que la influencia entre **C** y **A** se produce con un retraso, por lo que la flecha correspondiente presenta dos trazos.

Los retrasos pueden tener una enorme influencia en el comportamiento de un sistema. En los bucles de realimentación positiva determinan que el crecimiento no se produzca de forma tan rápida como cabría esperar. En los de realimentación negativa su efecto es más patente. Su presencia puede determinar que ante la lentitud de los resultados se tomen decisiones drásticas que conduzcan a una oscilación del sistema. Así en la Figura 2.6b se muestra el posible comportamiento del sistema de la Figura 2.6a, en el que se produce una oscilación en torno a la meta perseguida. Precisamente, el análisis de estas oscilaciones en una empresa con retrasos en la transmisión de información se encuentra en los orígenes de la Dinámica de Sistemas.



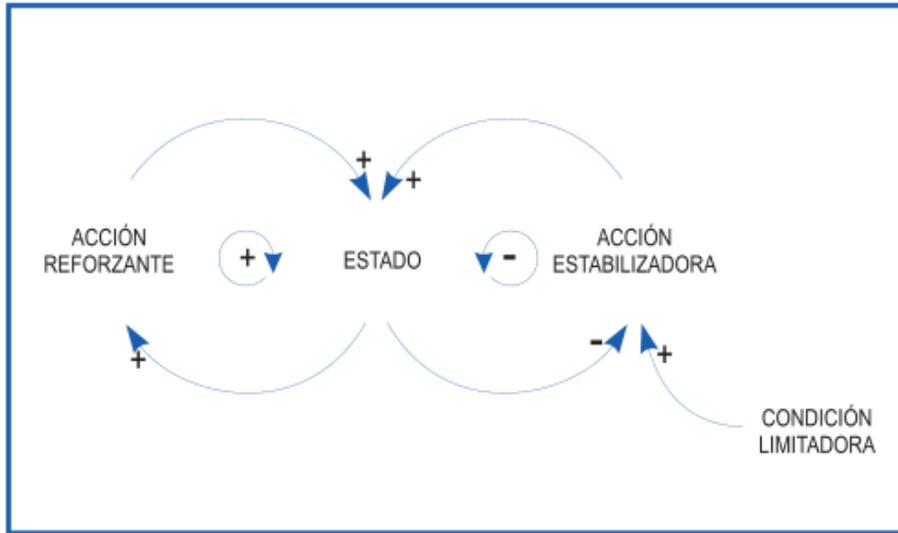
**Figura 2.6.** Bucle de realimentación negativa con un retraso y comportamiento correspondiente. (Tomada de [24]).

### 2.2.3.3. Sistemas Complejos y Estructuras Genéricas

Los bucles de realimentación positiva y negativa constituyen los ejemplos más simples de estructura de un sistema capaces de generar comportamiento de forma autónoma. Sin embargo, los sistemas con los que habitualmente nos encontramos no es frecuente que admitan una descripción en la que aparezca exclusivamente una de esas estructuras. Por el contrario, lo habitual es que nos encontremos con sistemas complejos en los que coexistan múltiples bucles de realimentación, tanto positivos como negativos. En tal caso el comportamiento resultante dependerá de cuáles de los bucles sean dominantes en cada momento.

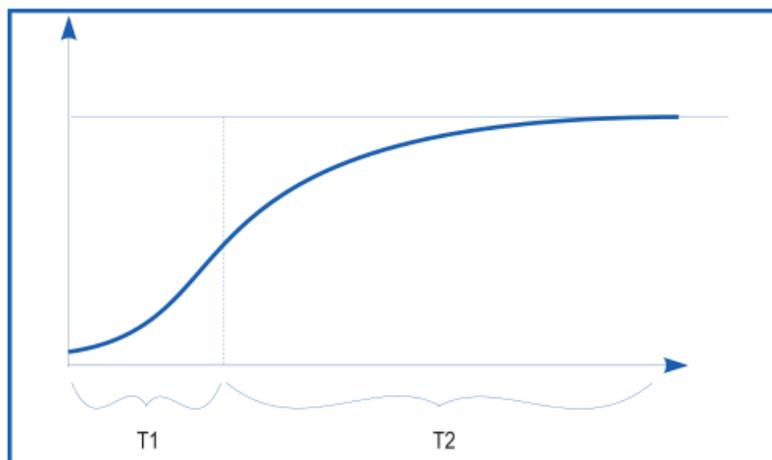
El ejemplo más simple de un sistema con varios bucles de realimentación es el que se muestra en la Figura 2.7, en el que se tiene una estructura en la que coexisten un bucle de realimentación positiva con uno negativo. Se trata de procesos en los que inicialmente se produce un crecimiento; es decir, al principio el bucle de realimentación positiva es el dominante. Sin embargo, sabemos que todo proceso de crecimiento tarde o temprano debe cesar. No hay un crecimiento indefinido. Este efecto limitador del crecimiento se incorpora mediante un bucle de realimentación negativa, como el que se muestra a la derecha de la Figura 2.7. Cuando el estado ha alcanzado un considerable nivel de crecimiento, como consecuencia de que el bucle de realimentación positiva es dominante, se invierte la

dominancia de los bucles, de modo que el nuevo bucle dominante es el negativo y se produce la limitación del crecimiento.



**Figura 2.7.** Estructura formada por dos ciclos de realimentación, uno positivo y otro negativo. (Tomada de [24]).

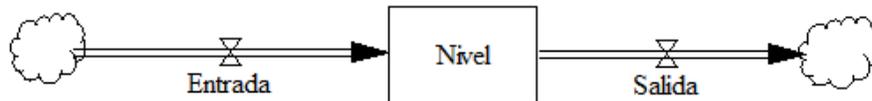
Todo sucede como si se combinase el crecimiento asociado a un bucle de realimentación positiva (recuérdese la Figura 2.5b), en la fase inicial del proceso, con el comportamiento asintótico correspondiente a un bucle de realimentación negativa (Figura 2.6b), en la fase terminal. En la Figura 2.8 se muestra la combinación de estos dos modos de comportamiento, que da lugar a la conocida curva de crecimiento logístico o sigmoideal.



**Figura 2.8.** Comportamiento sigmoideal de un proceso con dos bucles de realimentación, uno positivo y otro negativo. (Tomada de [24]).

## 2.2.4. Diagrama de Forrester

Una de las características distintivas de la Dinámica de Sistemas son los Diagramas de niveles y flujos, más conocidos como Diagramas de Forrester. Junto con la realimentación, los conceptos fundamentales de la Dinámica de Sistemas son los almacenamientos (stocks), llamados niveles, y los flujos.



*Figura 2.9. Diagrama de Forrester básico.*

Esta convención de niveles y flujos fue creada por el propio Jay Forrester basándose en una metáfora hidrodinámica: el flujo de entrada y salida de agua en una bañera o recipiente. De forma que la cantidad o nivel de agua de la bañera es la acumulación de agua que entra a través del grifo menos el agua que sale por el desagüe. En la Figura 2.9 se representa esta analogía según la notación propia de los Diagramas de Forrester que se muestra en la Figura 2.10.



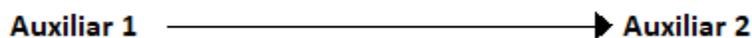
*Figura 2.10. Notación básica de los Diagramas de Forrester.*

Un Diagrama de Forrester se compone de diferentes elementos que pueden tener distinta naturaleza según el comportamiento que representen, son cuantitativos porque poseen un valor numérico en una determinada magnitud y pueden ser internos o exógenos al sistema. Estos elementos pueden ser variables o parámetros (o coeficientes).

Las variables pueden ser de tres clases:

- Variables de nivel. Son los recipientes, las variables que acumulan magnitudes con el tiempo. Definen el estado del sistema y generan la información en la que se basan las acciones y las tomas de decisiones. Implican la inercia del sistema porque pueden producir retardos por acumulación y, como en los circuitos secuenciales de los sistemas digitales, dotan de memoria al sistema. Como se ve en la Figura 2.10 se representan con rectángulos.
- Variables de flujo. Simbolizan el cambio de las variables de nivel durante un periodo de tiempo. Como veremos más adelante, al representar la variación del flujo, son las derivadas de los niveles con respecto al tiempo. Estas variables suelen estar intervenidas con variables auxiliares o con coeficientes (o tasas). En la metáfora hidráulica, son los grifos o válvulas que regulan el flujo y cuya representación se muestra en la Figura 2.10.
- Variables auxiliares. Son variables dependientes intermedias que reciben información de otras variables que transforman en nueva información en base a una función determinada y cuya salida se dirige hacia otra variable auxiliar o hacia una variable de flujo. Se utilizan para descomponer ecuaciones complejas en ecuaciones más simples que faciliten la lectura el modelo.

La existencia de variables auxiliares evidencia la existencia de canales de información que permiten la transferencia de datos desde variables de nivel o de flujo hacia variables de flujo. No tiene sentido que un nivel reciba información directamente porque sería dimensionalmente inconsistente, dicha información se traduce en acciones de regulación del flujo, de entrada o de salida, de los niveles.



**Figura 2.11.** *Dos variables auxiliares unidas por un canal de información.*

En la Figura 2.11 se muestra un ejemplo de dos variables auxiliares, Auxiliar 1 y Auxiliar 2, unidas por un canal de información. La notación de los canales de información es una línea de trazo sencillo (mientras que un flujo es una línea con trazo doble como se ve en la Figura 2.9). Pueden existir variables auxiliares independientes, pero en este caso serían coeficientes (parámetros, tasas, constantes, etc.) exógenos que pueden ser modificados por el usuario del modelo para regular su comportamiento.

En definitiva, dentro de esta tercera fase de modelado cuantitativo, en una primera etapa hay que trasladar el Diagrama Causal a un Diagrama de Forrester para lo cual se deben especificar las diferentes variables definiendo sus magnitudes, así como las funciones que determinen la relación entre las diferentes variables.

Los elementos del diagrama de Forrester:

- Canales de información. Transmiten, como su nombre indica, informaciones que por su naturaleza no se conservan. Las magnitudes físicas entre flujos y niveles se transmiten a través de los denominados "canales de material".
- La nube. Representa una fuente o un sumidero de material que puede interpretarse como un nivel que no es importante para el modelador y es prácticamente inagotable.
- Constantes o parámetros. se usan para representar aquellos valores que no cambian a través del tiempo. Son determinantes para calcular el valor de los flujos. Un ejemplo de constante es la tasa de natalidad de una población o la tasa de interés de un préstamo.
- Variables exógenas. son las influencias que afectan el sistema, pero lo que suceda en el sistema no la afecta. Un ejemplo puede ser la cantidad de agua lluvia que afecta a un cultivo.
- Retardos. Simulan el tiempo que demora la transmisión de los materiales o las informaciones. En los sistemas socioeconómicos es frecuente la existencia de retardos en la transmisión de material e información y tienen una gran importancia en la determinación del comportamiento del sistema. Ejemplo: si se siembra una semilla de maíz se esperaría que a los 90 días hubiera una mazorca, es decir, habría un retardo de 90 días desde el momento de la siembra hasta el momento de la cosecha.
- Tablas. Se usan para representar aquellas relaciones entre variables que son no lineales, este tipo de comportamientos se pueden observar por ejemplo entre la sensación de hambre y la cantidad de alimento consumido; a medida que se come la sensación de hambre disminuye, pero no proporcionalmente a la cantidad de alimento consumido. También se usan para representar multiplicadores que son las relaciones entre variables que no permanecen constantes a través del tiempo. Ejemplo de ello sería una tasa de interés variable.

### 2.3. Simulación a Eventos Discretos

La simulación a eventos discretos se refiere a la modelación computacional de sistemas que evolucionan en el tiempo mediante cambios instantáneos en las variables de estado. Los cambios ocurren en puntos separados del tiempo (o intervalos discretos) accionados por eventos. Es decir, el modelo salta desde el tiempo de un evento hasta el tiempo del siguiente evento. Estas características otorgan a la simulación de eventos discretos flexibilidad y eficiencia para que pueda ser usada en una gran variedad de problemas [2][3].

En términos simples, modela el progreso de los sistemas de colas a lo largo del tiempo. Esto lo consigue representando el mundo como un conjunto de entidades que fluyen a través de una red de colas y actividades, donde los recursos son compartidos por las actividades. En otras palabras, la simulación de eventos discretos es muy útil para problemas que consisten en simulaciones de colas o redes complejas con colas, en las cuales los procesos pueden ser bien definidos y el énfasis está en representar incertidumbre a través de distribuciones estocásticas. Muchas de estas aplicaciones se dan en las industrias de manufactura y de servicios.

Los conceptos principales de la simulación de eventos discretos son entidades, atributos, variables, eventos, recursos, colas y tiempo.

- **Entidades.** Son objetos dinámicos que tienen atributos, consumen recursos y entran a las colas. Las entidades cambian de estado, afectan y son afectadas por otras entidades, así como por el estado del sistema. Usualmente, son creadas, se mueven por el sistema durante un lapso de tiempo y luego son eliminadas al salir de él, aunque puede haber entidades que nunca dejen el sistema y se mantengan circulando de forma permanente.
- **Atributo.** Es una característica común de todas las entidades, pero con un valor específico que puede variar de una entidad a otra (por ejemplo, edad, sexo, color, etc.). Estos valores pueden ser usados para determinar cómo una entidad responde a ciertas circunstancias, además, pueden ser modificados durante cualquier momento de la simulación.
- **Variables.** Representan características del sistema que son independientes de los tipos de entidades, sin embargo, estas últimas pueden modificar las variables.
- **Evento.** Es algo que sucede en un instante de tiempo y que puede cambiar los atributos, las variables o las estadísticas.

- **Recurso.** Es un objeto que provee un servicio a una entidad. Los recursos representan personas, equipo, espacio físico, etc. La entidad captura unidades de un recurso cuando está disponible y las libera cuando termina de usarlo.
- **Colas.** Si un recurso está ocupado cuando una entidad lo requiere, entonces la entidad debe esperar y formar una cola. Las colas pueden tener capacidades máximas y reglas que definen la prioridad de las entidades en la cola, como FIFO (first in first out).
- **Tiempo.** Un reloj de simulación mantiene un registro del tiempo. A diferencia del tiempo real, el reloj de simulación no calcula todos los valores de forma continua, sino que salta del tiempo de un evento al tiempo del siguiente evento. Para ello, el reloj de simulación interactúa con el calendario de eventos (que es una lista de los eventos programados).
- **Enfoque de eventos.** El sistema es modelado al definir los cambios que ocurren al momento de los eventos. La tarea del modelador consiste en determinar los eventos que pueden cambiar el estado del sistema (el estado del sistema no cambia entre eventos) y luego desarrollar la lógica asociada a cada tipo de evento. Una simulación del sistema se produce al ejecutar la lógica que se relaciona con cada evento en una secuencia ordenada en el tiempo.

Deben plantearse las siguientes preguntas para iniciar el modelamiento de un sistema a partir de este enfoque:

- ¿Cómo se define el estado del sistema?
- ¿Cuáles son los eventos que pueden cambiar el estado del sistema?
- ¿Cuál es la lógica dentro de cada evento que define los cambios de estado?

- **Enfoque de actividades.** Se originó como un método denominado escaneo de actividades. En este enfoque el modelador describe las actividades en que participan las entidades del sistema y determina las condiciones que causan que una actividad se inicie o finalice. Los eventos que comienzan o terminan la actividad no son programados por el modelador, pero son ejecutados por las condiciones especificadas para la actividad. Mientras el tiempo de la simulación avanza, se monitorean las condiciones para iniciar o finalizar una actividad. Si las condiciones son cumplidas, las acciones apropiadas para la actividad son ejecutadas. Para asegurar que cada actividad sea considerada, es necesario monitorear el conjunto

de actividades cada vez que el tiempo avance; por tal razón, este enfoque es menos eficiente que el de eventos discretos.

El método de escaneo de actividades evolucionó hacia el denominado método de las tres fases, que es una versión que mejora la eficiencia de la ejecución. Este procedimiento categoriza las actividades en B y C. Las actividades B están ligadas a la ocurrencia de un suceso y pueden ser programadas con anticipación, mientras que las actividades C se producirán cuando se verifiquen ciertas situaciones o condiciones.

- **Enfoque de procesos.** Muchos modelos de simulación incluyen secuencias de elementos que ocurren en patrones definidos a lo largo del tiempo; por ejemplo, una cola donde las entidades esperan para ser procesadas por el servidor. La lógica asociada con tal secuencia de eventos puede ser generalizada y definida por una única declaración, luego un lenguaje de simulación puede traducir tales declaraciones en una secuencia de eventos apropiada, y un lenguaje enfocado a los procesos emplea estas declaraciones para modelar el flujo de entidades a través del sistema. Asimismo, ya que una actividad se puede definir como el estado de un objeto entre dos eventos, entonces el enfoque por procesos se puede concebir como una sucesión continua de una o más actividades (Vangheluwe, 2001). La mayoría de los programas comerciales de DES trabajan con este enfoque (Heath et. al, 2011).

En este tipo de simulación se generan y administran eventos en el tiempo por medio de una cola de eventos ordenada según el tiempo de simulación en que deben ocurrir y de esta forma el simulador lee de la cola y dispara nuevos eventos. Entre otros un evento puede ser: la llegada de un cliente, la llegada de un camión, el inicio del proceso de una pieza, la finalización de un proceso de fabricación. Esta modalidad de simulación se usa típicamente en el diseño de la mayoría de eslabones de la cadena de suministro tales como: líneas de producción, plantas de procesamiento, bodegas de materia prima, bodegas de producto terminado, puntos de atención a clientes, hospitales, centros de atención médica.

Una variación importante de la simulación de eventos discretos es la simulación de agentes, en ella las entidades (tales como moléculas, células, árboles o consumidores) son representados directamente (en vez de representarse a través de sus densidades o cantidades), estos agentes poseen estados internos y conjuntos de comportamientos o reglas sencillas individuales que definen como son actualizados estos estados entre los diferentes puntos en el tiempo, definiendo así el comportamiento del conjunto de los

agentes. Un ejemplo típico para este tipo de simulación es el de peatones en un evento de evacuación, para que dado unas reglas generales del comportamiento de movimiento de cada individuo se logre simular y determinar el tiempo de evacuación de todo el grupo de peatones dado un número de salidas en una locación determinada.

### 2.3.1. Entornos de simulación

#### Herramientas informáticas disponibles

En la formulación del modelo es necesario definir todas las variables que forman parte de él, sus relaciones lógicas y los diagramas de flujo que describan en forma completa el modelo. Es importante que se definan con claridad y exactitud los datos que el modelo va a requerir para producir los resultados deseados [2][3]. Con el modelo definido, el siguiente paso es decidir si se utiliza algún lenguaje como el fortran, algol, lisp, etc., o se utiliza algún paquete como Promodel, Vensim, Stella y iThink, GPSS, simula, simscript, Rockwell Arena, [Flexsim], etc., para procesarlo en la computadora y obtener los resultados deseados.

El software disponible para el desarrollo de modelos de simulación puede ser dividido en cuatro categorías.

– **Hojas de cálculo.** Cuando se trabaja con problemas de pequeña dimensión es posible usar también hojas de cálculo, como por ejemplo Excel, para tener una idea del funcionamiento de un sistema. Para problemas de relativa complejidad, las hojas de cálculo se vuelven demasiado engorrosas y dejan de ser una alternativa interesante.

– **Lenguajes de propósito general.** Fueron muy empleados en el nacimiento de la simulación, pero requieren mucho tiempo de programación y, por eso, se prefiere, en general, usar lenguajes específicos para la simulación. A esta categoría pertenecen lenguajes como Fortran, C y C++.

– **Lenguajes para la programación de simulación.** Proporcionan muchas características necesarias para realizar un modelo de simulación, reduciendo así el tiempo de realización. Ejemplos son GPSS, Simscript, Siman, Modsim, etc. Aunque son menos flexibles que los lenguajes de propósito general, son el modo más natural para realizar un modelo de simulación.

– **Paquetes de software de simulación.** Los entornos específicos de simulación son herramientas muy potentes con elementos predefinidos que simplifican notablemente la tarea de construcción de modelos. Estos elementos permiten representar de forma sencilla

un abanico relativamente amplio de procesos y fenómenos que tienen lugar en entornos logísticos y productivos. A pesar de ello, a veces es necesario diseñar elementos específicos o configurar de manera adecuada los elementos existentes para representar particularidades del sistema estudiado.

Dentro de este grupo, existen lenguajes como Extend, Micro Saint, Autmod, Promodel, Arena Y Witness.

Estos paquetes incluyen, además, herramientas específicas para gestionar todo el proceso de simulación (como por ejemplo, la realización de experimentos). El inconveniente de esta alternativa es el precio, notablemente mayor que el de cualquiera de las alternativas anteriores.

# Capítulo 3.

## METODOLOGÍA.

Este capítulo abarca los pasos ejecutados en el presente proyecto para la obtención de los objetivos planteados, explicación de las técnicas utilizadas.

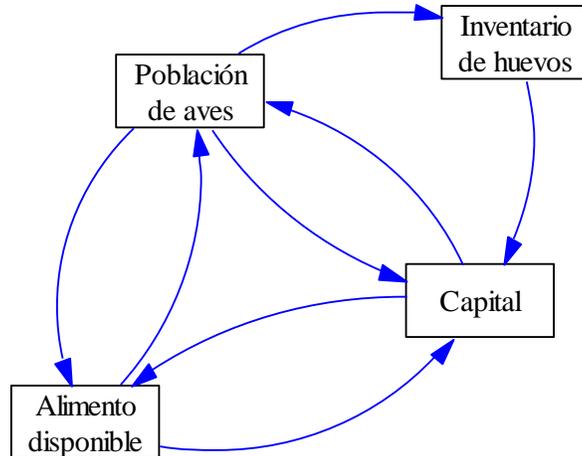
El esquema mostrado en la Figura 3.1 resume de manera muy general, el proceso aplicado a lo largo del presente trabajo.



*Figura 3.1. Esquema básico de la metodología empleada en el presente proyecto.*

### 3.1. Descripción del Sistema

En el proceso de la producción intensiva de huevos se determinaron cuatro subsistemas que interactúan unos con otros y que afectan el comportamiento general del sistema de producción. Estos subsistemas son la población de aves, el capital de inversión, alimento disponible y el inventario de huevos. En la Figura 3.2 se observa las interacciones involucradas entre estos subsistemas.



**Figura 3.2.** Interacción de los subsistemas en una granja de producción avícola.

Entre los subsistemas mencionados, se establecieron las relaciones que más afectan al sistema de forma general; a continuación, se detallan cada una de estas relaciones:

**Población de aves y el inventario de huevos:** Se identificó esta relación sabiendo que el inventario de huevos es directamente proporcional a la población de aves, ya que un mayor número de aves en producción generan una mayor cantidad de huevos según sea el porcentaje de puesta en las aves.

**Inventario de huevos y el capital disponible:** Se estableció la relación sabiendo que el capital disponible depende y es directamente proporcional al inventario de huevos, ya que los ingresos generados por las ventas de este último, afectaran el capital disponible, según sea el precio del huevo en el mercado actual.

**Capital de inversión y el alimento disponible:** Esta relación se dedujo del hecho de que el capital de inversión limita el alimento disponible; ya que, si no se dispone de dinero suficiente, no se podrá realizar la compra del alimento. También se encontró la relación que describe que el alimento disponible afecta al capital de inversión a través de la compra de alimentos, generando egresos que afectan al capital de inversión, estos egresos dependen de la cantidad de alimento que se vaya a comprar y del precio del mismo.

**Capital de inversión y población de aves:** La compra de las pollitas para producir genera egresos que afectan al capital disponible, estos egresos dependen de la cantidad de pollitas que se vayan a comprar y del precio de las mismas. El capital disponible limita la población de aves, ya que, si no se dispone de dinero suficiente, no se podrá realizar la compra de las pollitas.

**Población de aves y el alimento disponible:** Se logró identificar el efecto que causa la población de aves sobre el alimento disponible; dado que este último disminuye de acuerdo al consumo de alimento. El consumo depende de la población de aves y de la tasa de consumo de alimento. También se pudo establecer que el alimento disponible limita el tamaño de la población de aves que se puede sostener.

### 3.1.1. Identificación de Variables

A lo largo de esta sección se van a presentar una serie de tablas que contienen las diversas variables que se han extraído para el modelo que se plantea conseguir en este proyecto. En estas tablas se definen las variables y se indican las diversas relaciones entre las variables. Es necesario mencionar que no todas las variables que se han extraído de la documentación consultada aparecerán en el modelo final, sino que algunas serán eliminadas por su poca relevancia y otras se fusionarán para dar variables que posean un sentido más completo. Se separaron las principales variables que afectan a los cuatros subsistemas mencionados anteriormente, con el objeto de entender bien el comportamiento de cada uno de ellos. Algunas variables se identificaron en más de un subsistema, estas variables entrelazan a los subsistemas y por ende se describen en varios de estos subsistemas.

#### 3.1.1.1. Variables del Subsistema Financiero

En la Tabla 3.1 se presentan las diversas variables que se consideran están incluidas en la fase financiera del modelo. Cada una de dichas variables contiene una definición aclarativa de cada una de ellas, así como la relación que tienen con otras variables.

Variable	Definición	Relación
Ingresos	Ganancias generadas por la venta de huevos.	Precio del huevo * Huevos vendidos
Egresos	Costo generado a partir de la compra de las pollitas en etapa cero y de la compra de alimento.	(Compra de aves * Precio de las aves) + (Compa de alimento * Precio del alimento)
Dinero disponible	Dinero disponible para los gastos que se generen durante toda la producción (Egresos).	Dinero disponible + Ingresos – Egresos
Precio del alimento	Precio por kilogramo de alimento.	

<b>Precio de las aves</b>	Representa el valor actual en el mercado de las pollitas en etapa ceo en unidades monetarias.	
<b>Precio del huevo</b>	Representa el valor actual del huevo por unidad en el mercado.	
<b>Huevos vendidos</b>	Cantidad de huevos que son vendidos según demanda y la cantidad huevos ofertados.	Sí la cantidad de huevos $\geq$ Demanda, entonces, Huevos vendidos = Demanda. Sí la Cantidad de huevos $<$ Demanda, entonces, Huevos vendidos = Cantidad de huevos
<b>Costo del alimento</b>	Gastos que se genera a partir de la compra de alimento en kilogramos según sea el precio del mismo.	Compra de alimento * Precio del alimento
<b>Costo de las aves</b>	Gasto que se genera a partir de la compra de aves (pollitas recién nacidas) según sea el precio de las mismas.	Compra de ave * Precio de las aves

**Tabla 3.1.** Definición, relaciones y unidades de las variables del subsistema financiero.

### 3.1.1.2. Variables del Subsistema de producción

Se identificaron las principales variables que afectan al subsistema de producción, en la Tabla 3.2 se definen cada una de estas variables y sus respectivas relaciones entre ellas.

Variable	Definición	Relación
<b>Tasa de postura</b>	Porcentaje de postura por ave, se tiene en cuenta que el 100% son 7 huevos por semana.	
<b>Aves ponedoras</b>	Cantidad de aves que ponen huevos (Aves en etapa de pre-postura y producción).	
<b>Postura de huevos</b>	Total de huevos producido por día según sea el porcentaje de postura y las aves ponedoras.	(Tasa de postura * Aves ponedoras) /100%

<b>Cantidad de huevos</b>	Cantidad de huevos en oferta.	Cantidad de huevos + Postura de huevos – Huevos vendidos
<b>Huevos vendidos</b>	Cantidad de huevos que son vendidos según demanda y la cantidad de huevos ofertados	Sí la cantidad de huevo $\geq$ Demanda, entonces, Huevos vendidos = Demanda. Sí la Cantidad de huevos $<$ Demanda, entonces, Huevos vendidos = Cantidad de huevos.
<b>Demanda</b>	Cantidad de huevos que se va a vender.	

**Tabla 3.2.** Definición, relaciones y unidades de las variables del subsistema de producción.

### 3.1.1.3. Variables del Subsistema de Alimentación

Como parte del sistema de producción avícola, también encontramos el subsistema de alimentación, en el que se lograron identificar algunas variables necesarias para entender el comportamiento del mismo. A continuación, en la Tabla 3.3 se muestran las variables involucradas en este subsistema, sus respectivas definiciones y las relaciones entre variables.

Variable	Definición	Relación
<b>Tasa de consumo</b>	Cantidad de alimento que consume un ave por día.	
<b>Alimento consumido</b>	Cantidad de alimento que se consume a diario por las aves.	Tasa de consumo * Cantidad de aves
<b>Cantidad de alimento</b>	Alimento que se encuentra disponible para ser consumido por las aves y que disminuye de acuerdo al alimento consumido y aumenta con la compra del mismo.	Cantidad de alimento + Compra de alimento – Alimento consumido
<b>Tope mínimo de alimento</b>	Valor mínimo soportable de la cantidad de alimento.	
<b>Discrepancia</b>	Es la diferencia entre la cantidad de alimento y el tope mínimo.	Cantidad de alimento – Tope mínimo de alimento
<b>Compra de alimento</b>	Cantidad de alimento en kilogramos que se repondrá una vez que la	Sí la Discrepancia $\leq$ Tope mínimo, entonces, Compra de

	cantidad de alimento supere al tope mínimo.	alimento = (Compra deseada de alimento * Cantidad de aves). Si la Discrepancia > Tope mínimo, entonces, Compra de alimento = 0.
<b>Compra deseada de alimento</b>	Cantidad de alimento por unidad de ave que se desea comprar.	

**Tabla 3.3.** Definición, relaciones y unidades de las variables del subsistema de alimentación.

### 3.1.1.4. Variables del Subsistema de Población

Por último, está el subsistema de población, para el cual se identificaron las variables presentes en la Tabla 3.4 que se muestra a continuación, en ella se describe una definición clara de cada una de estas variables involucradas y sus respectivas relaciones con el objetivo de entender el comportamiento de dicho subsistema.

Variable	Definición	Relación
<b>Tasa de mortalidad</b>	Porcentaje de muertes de aves.	
<b>Muerte de aves</b>	Cantidad de aves que mueren según la tasa de mortalidad.	(Cantidad de aves * Tasa de mortalidad) /100%
<b>Cantidad de aves</b>	Número total de aves.	Compra de aves – Muerte de aves
<b>Aves maduras</b>	Cantidad de aves que se encuentran listas para a la siguiente etapa.	Aves maduras = Cantidad de aves, sí es el primer de la siguiente etapa. Sino Aves maduras = 0.
<b>Compra de aves</b>	Cantidad de aves recién nacidas que serán compradas al inicio de cada proceso productivo.	Sí dinero disponible >= Costo de las aves, entonces se compra una cantidad deseada de aves. Sí dinero disponible < Costo de las aves, entonces Compra de aves = 0.

**Tabla 3.4.** Definición, relaciones y unidades de las variables del subsistema de población.

### **3.1.2. Hipótesis**

Como hipótesis se han planteados distintos resultados según las relaciones que tenga cada variable y las consecuencias inmediatas que esto pueda traer. Como primera hipótesis de los resultados que se esperan obtener, se ha planteado que, al incrementar el tope mínimo de alimento para cada etapa, quede disponible una alta cantidad del mismo. Otra hipótesis que se plantea es que al aumentar el tope mínimo o al aumentar la compra deseada del alimento, se aumente el total de los costos generados por la compra de alimento, y estos a su vez aumentan los egresos, los cuales disminuyen al capital disponible.

## **3.2. Construcción del Diagrama Causal**

Se construyó el diagrama causal para los subsistemas de maduración y ciclo de vida de las aves, control de inventario de alimento y, producción y financiero. Todos estos subsistemas se relacionan formando el diagrama causal que se muestra en la Figura 1 del Anexo 1.

### **3.2.1. Subsistema de Maduración y Ciclo de Vida de las Aves**

Se plantearon cinco etapas de vidas durante todo el proceso de producción, en cada una de estas etapas la población de aves varía de acuerdo a unas tasas de mortalidad (una por cada etapa). Las etapas se muestran a continuación:

Pre-iniciación: semana 1 a semana 3 de vida.

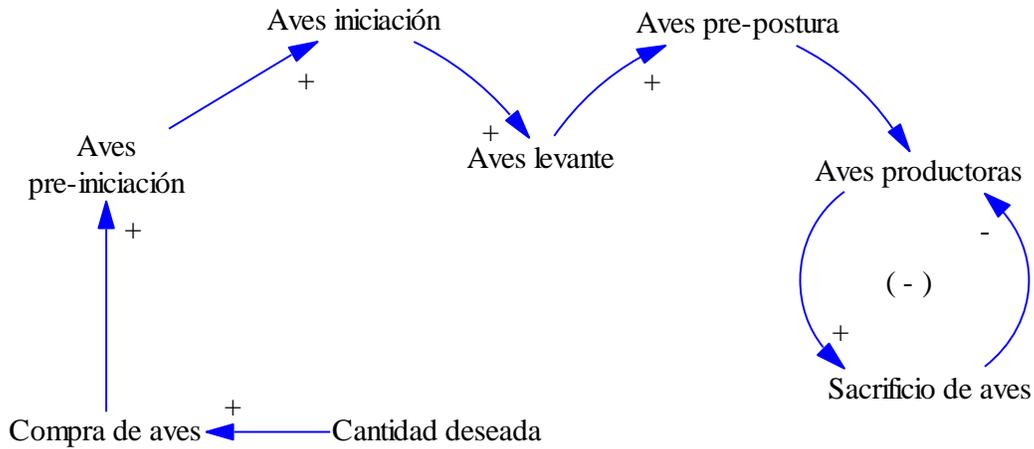
Iniciación: semana 4 a semana 8 de vida.

Levante: semana 9 a 16 de vida.

Pre-postura: semana 17 a 20 de producción.

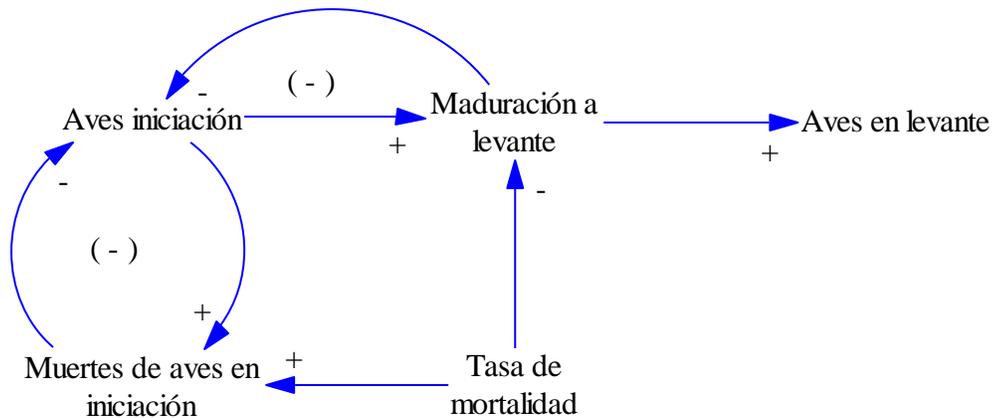
Producción: semana 21 a semana 95.

Se construyó el diagrama causal para los subsistemas de maduración y ciclo de vida de las aves. El diagrama de la Figura 3.3, describe la variación de la población de aves durante la transición de las diferentes etapas de desarrollo de las aves. La compra de aves, afecta inmediatamente a la cantidad de aves en etapa de pre-iniciación incrementando su valor. De igual manera ocurre para la transición de la población de aves entre cada etapa. La población de aves que sobrevive en cada etapa afecta a la población de ave que inicia en la etapa siguiente. Al finalizar todas las transiciones entre etapas, la población de aves que sobrevive a la etapa de producción (aves ponedoras), afecta a la población de aves que serán sacadas del galpón y sacrificadas.



**Figura 3.3.** Diagrama causal del subsistema de población de aves.

Para el ciclo de vida de las aves, se construyó el diagrama causal representado en la Figura 3.4; donde se describe las relaciones que presentan las variables en el paso de la maduración de la población de las aves de la etapa de iniciación a la etapa de levante. El mismo comportamiento es aplicado para la población de las aves en otras etapas de su desarrollo.

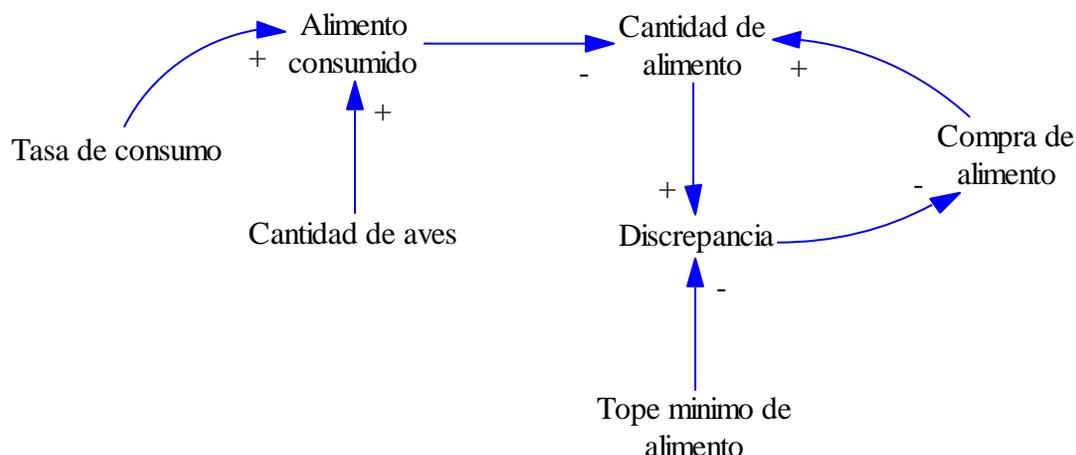


**Figura 3.4.** Diagrama que detalla la maduración de aves de iniciación a levante.

### 3.2.2. Subsistema de Control de Inventario de Alimento

Se describió las interacciones de las variables involucradas en el subsistema de control de inventario de alimento (ver Figura 3.5), en donde la tasa de consumo junto a la cantidad de aves afecta al alimento consumido, y este a su vez afecta a la cantidad de alimento disponible. La compra o reposición del alimento, incrementa la cantidad de alimento disponible para el consumo. La discrepancia entre la cantidad de alimento disponible y el

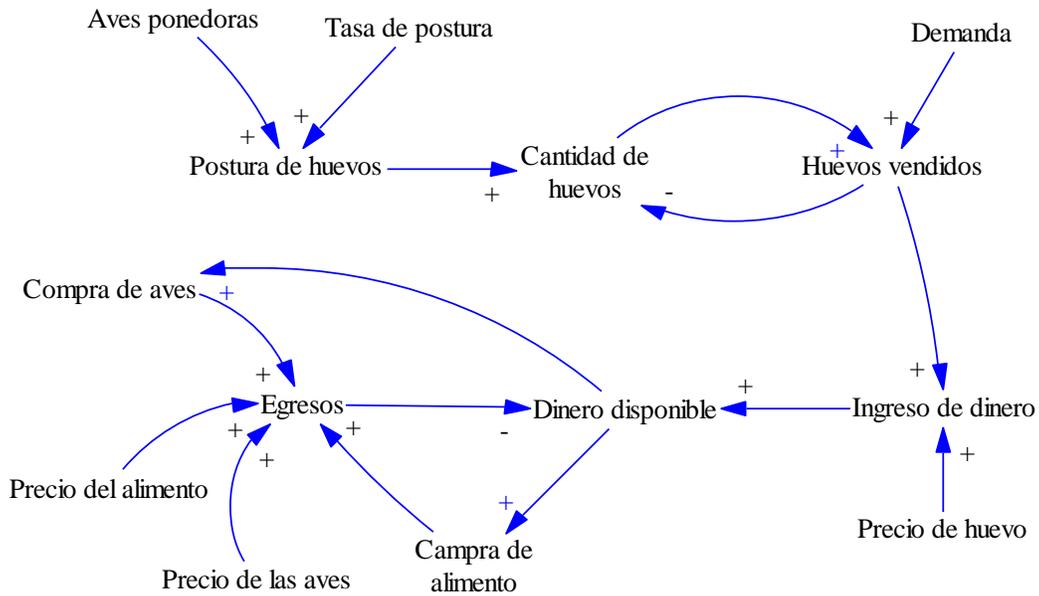
tope mínimo de alimento, determinan si se debe o no realizar una nueva compra o reposición del alimento.



*Figura 3.5. Diagrama causal del subsistema de alimento.*

### 3.2.3. Subsistema de Producción y Financiero

Se describió el subsistema de producción y financiero, teniendo que la postura de huevos es afectada por una tasa de postura y por la cantidad de aves ponedoras (ver Figura 3.6). La cantidad de huevos afecta directamente la cantidad de huevos que van a ser vendidos de acuerdo a una demanda preestablecida. Los huevos que son vendidos afectan a los ingresos de acuerdo al precio por unidad de huevo en el mercado actual. El capital disponible es afectado positivamente por los ingresos y de manera negativa por los egresos acumulados por la compra de aves en etapa cero según sea el precio por ave y la compra de alimento según sea el precio del mismo. La compra de alimento y la compra de aves depende del capital disponible ya que es esencial un valor suficiente del dinero para autorizar las compras requeridas para seguir con el proceso productivo.



**Figura 3.6.** Diagrama causal del subsistema financiero y producción.

### 3.3. Construcción del Diagrama de Forrester

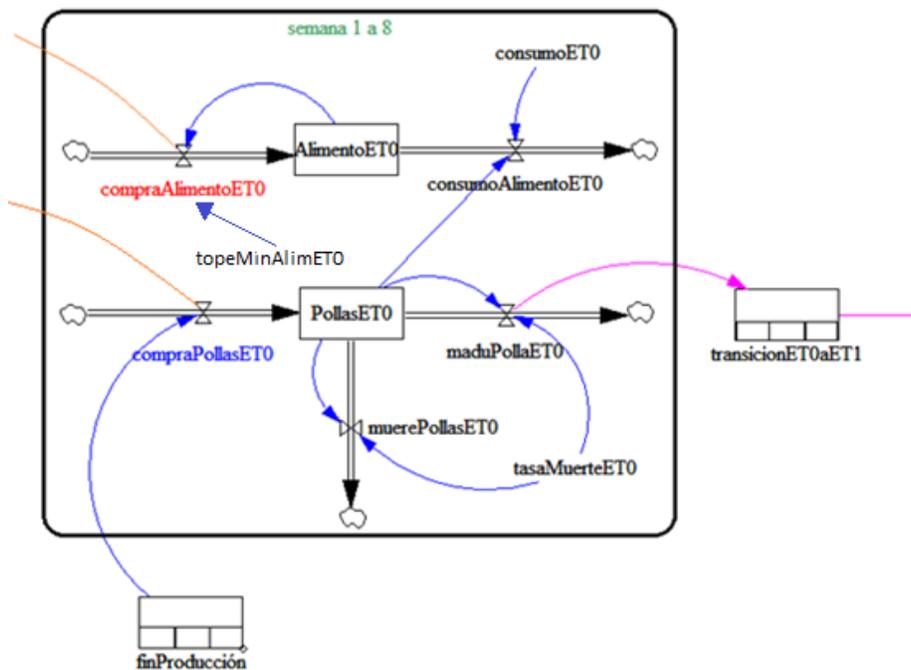
Para la construcción del modelo se utilizó el software Vensim PLE 6.4E (Versión Académica) y se han seguido, las etapas de la Metodología de Dinámica de Sistemas [24], de esta forma, en la Fase de conceptualización se ha construido el diagrama causal, incluyendo las variables que representan un proyecto de producción avícola y sus interrelaciones. Luego, en la fase de formulación se ha traducido el diagrama anteriormente mencionado al diagrama de Forrester, el cual se describe en la Figura 2 del Anexo 1.

El diagrama de Forrester para la fase de iniciación representa la etapa inicial del proceso productivo (Figura 3.7), en él se detallan las variables involucradas en esta fase de iniciación, así como también las influencias entre ellas y en la Tabla 3.5 se describen cada una de ellas. La fase de iniciación comienza con la compra de las pollitas recién nacidas (variable de flujo), la compra de las pollitas afecta a la población de pollas (Variable de nivel) en esta fase cada vez que hay una compra de las mismas se incrementa el número de aves en esta etapa inicial. El número de aves maduras (variable de flujo) reduce la población de aves de acuerdo a una tasa de mortalidad. El total de las aves maduras, afectan a la población de aves en la siguiente etapa o fase, según el orden de producción. La transición de las aves maduras desde la etapa inicial a la siguiente, conlleva un retardo (duración de cada etapa). La compra de alimento (variable de flujo) incrementa la cantidad de alimento disponible

(variable de nivel), y el consumo de alimento (variable de flujo) disminuye el alimento disponible de acuerdo a una tasa de consumo.

Variable	Descripción	Unidades
<b>compraAlimentoET0</b>	Cantidad de alimento que se compra en la etapa cero.	Kg
<b>topeMinAlimET0</b>	Tope mínimo de alimento en etapa cero.	Kg
<b>AlimentoET0</b>	Cantidad de alimento disponible en la etapa cero.	Kg
<b>consumoAlimentoET0</b>	Cantidad de alimento consumido en la etapa cero.	Kg
<b>consumoET0</b>	Tasa de consumo diario de alimento en la etapa cero.	Kg
<b>compraPollasET0</b>	Cantidad de pollitas que se compran al iniciar la etapa cero.	Pollas
<b>PollasET0</b>	Cantidad de pollas disponibles en la etapa cero.	Pollas
<b>maduPollaET0</b>	Cantidad de pollas maduras en la etapa cero.	Pollas
<b>muerePollasET0</b>	Cantidad de pollas que mueren en la etapa cero.	Pollas
<b>tasaMuerteET0</b>	Tasa de muerte de las pollas en etapa cero.	%
<b>transicionET0aET1</b>	Transición de las pollas maduras de la etapa cero a la etapa uno.	Pollas

*Tabla 3.5. Descripción de las variables del Diagrama de Forrester de la fase de iniciación.*

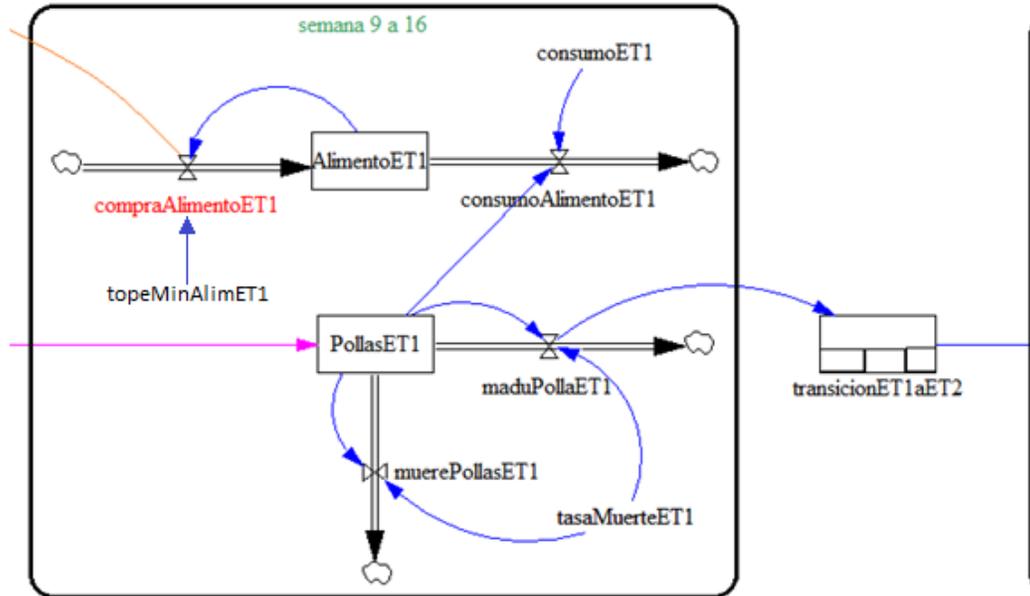


*Figura 3.7. Diagrama de Forrester de la fase de iniciación.*

En las siguientes etapas o fases de la producción se presentan algunos cambios referentes a la fase inicial del proceso, entre ellos cabe aclarar que la población de aves no es afectada por la compra de las mismas sino únicamente por las aves maduras de la etapa anterior. Algunas variables como la tasa de muerte y tasa de alimentación varían en cada una de las etapas. A continuación, en la Figura 3.8 se muestra el diagrama de Forrester de la fase de desarrollo y en la Tabla 3.6 se describen las respectivas variables de este diagrama.

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>
<b>compraAlimentoET1</b>	Cantidad de alimento que se compra en la etapa uno.	Kg
<b>topeMinAlimET1</b>	Tope mínimo de alimento en etapa uno.	Kg
<b>AlimentoET1</b>	Cantidad de alimento en la etapa uno.	Kg
<b>consumoAlimentoET1</b>	Cantidad de alimento consumido en la etapa uno.	Kg
<b>consumoET1</b>	Tasa de consumo diario de alimento en la etapa uno.	Kg
<b>PollasET1</b>	Cantidad de pollas disponibles en la etapa uno.	Pollas
<b>maduPollaET1</b>	Cantidad de pollas maduras en la etapa uno.	Pollas
<b>muerePollasET1</b>	Cantidad de pollas que mueren en la etapa uno.	Pollas
<b>tasaMuerteET1</b>	Tasa de muerte de las pollas en etapa cero.	%
<b>transicionET1aET2</b>	Transición de las pollas maduras de la etapa uno a la etapa dos.	Pollas

**Tabla 3.6.** Descripción de las variables del Diagrama de Forrester de la fase de desarrollo.

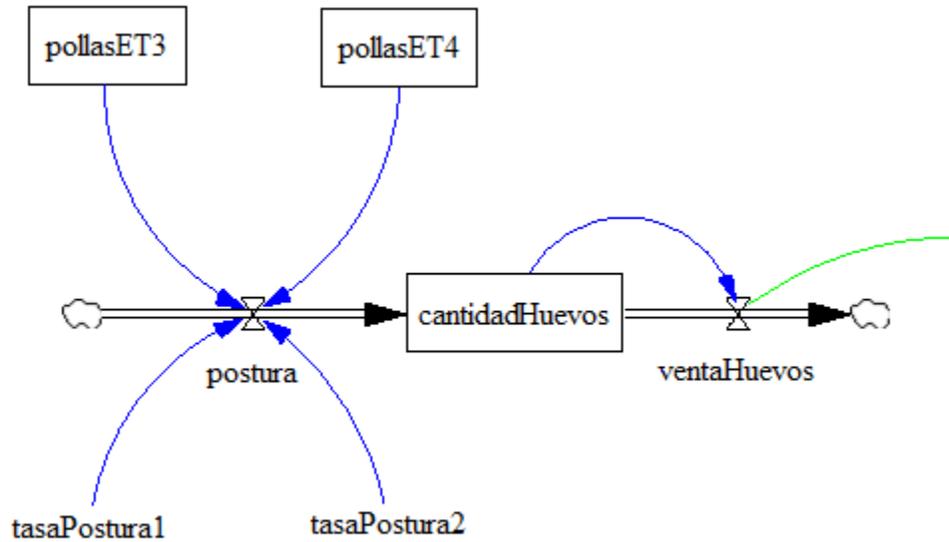


**Figura 3.8.** Diagrama de Forrester de la fase de desarrollo.

Para el diagrama de Forrester de la producción de huevos (ver Figura 3.9), se establece una variable de nivel, en este caso nos referimos a la cantidad de huevos, la cual es afectada por la postura diaria de huevos (variable de flujo) según sea la población de aves de las dos últimas fases de la producción y sus respectivas tasas de posturas. La postura incrementa la cantidad de huevos, mientras que la venta de huevos (variable de flujo) disminuye la cantidad de huevos. A continuación, en la Tabla 3.7 se describen las variables involucradas en el diagrama de Forrester de la producción de huevos.

Variable	Descripción	Unidades
<b>PollasET3</b>	Cantidad de pollas disponibles en la etapa tres.	Pollas
<b>PollasET4</b>	Cantidad de pollas disponibles en la etapa cuatro.	Pollas
<b>postura</b>	Cantidad de huevos por día.	Huevos/Día
<b>cantidadHuevos</b>	Cantidad de huevos.	Huevos
<b>ventaHuevos</b>	Cantidad de huevos vendidos.	Pollas
<b>tasaPostura1</b>	Tasa de postura diaria cuando las pollas están en la etapa tres.	Huevos/Día
<b>tasaPostura2</b>	Tasa de postura diaria cuando las pollas están en la etapa cuatro.	Huevos/Día

**Tabla 3.7.** Descripción de las variables del Diagrama de Forrester de la producción de huevos.



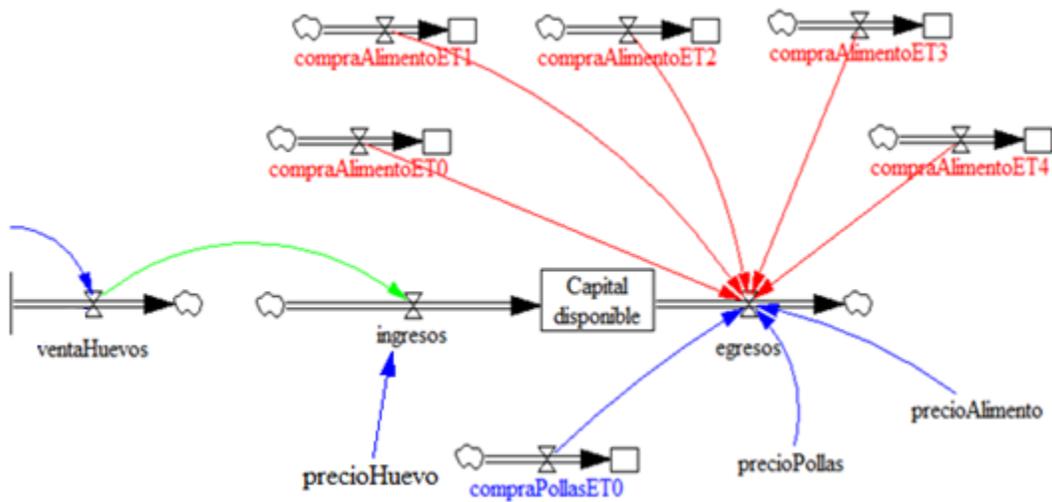
**Figura 3.9.** Diagrama de Forrester de la producción de huevos.

En el diagrama de Forrester del subsistema financiero (ver Figura 3.10) se describe el comportamiento de la producción; el capital disponible (variable de nivel) es incrementado por los ingresos (variable de flujo), y disminuye con los egresos (variable de flujo). Los egresos se incrementan con la compra de alimento y de las pollitas recién nacidas de acuerdo al precio del alimento y de las pollitas respectivamente. Los ingresos se incrementan de acuerdo a la venta de huevos y al precio de los mismos. A continuación, en la Tabla 3.8 se describen las variables involucradas en el diagrama de Forrester del subsistema financiero.

Variable	Descripción	Unidades
<b>compraAlimentoET0</b>	Cantidad de alimento que se compra en la etapa cero.	Kg
<b>compraAlimentoET1</b>	Cantidad de alimento que se compra en la etapa uno.	Kg
<b>compraAlimentoET2</b>	Cantidad de alimento que se compra en la etapa dos.	Kg
<b>compraAlimentoET3</b>	Cantidad de alimento que se compra en la etapa tres.	Kg
<b>compraAlimentoET4</b>	Cantidad de alimento que se compra en la etapa cuatro.	Kg
<b>ventaHuevos</b>	Cantidad de huevos vendidos.	Huevos
<b>ingresos</b>	Cantidad de dinero que resulta de las ventas de huevos.	COP
<b>Capitaldisponible</b>	Cantidad de dinero que se dispone luego de sumar los ingresos y restar los egresos.	COP

egresos	Dinero que se gasta al comprar alimento en cada una de las etapas.	COP
compraPollasET0	Cantidad de pollitas que se compran al iniciar la etapa cero.	Pollas
precioPollas	Precio por unidad de pollas.	COP
precioAlimento	Precio de alimento por Kg	COP
precioHuevo	Precio por unidad de huevos.	COP

**Tabla 3.8.** Descripción de las variables del Diagrama de Forrester del subsistema financiero.



**Figura 3.10.** Diagrama de Forrester del subsistema financiero.

# Capítulo 4.

## Implementación.

A lo largo de esta sección se va a proponer una serie de ejemplos que se pretenden introducir en el modelo para estudiar los resultados arrojados y comenzar a extraer conclusiones del empleo del modelo realizado. Desde otro punto de vista se analizarán las entradas que existen en el modelo y que cualquier persona que desee emplear este modelo deberá amoldar a su organización para obtener datos verídicos. Del mismo modo se indicarán los resultados que se pretenden analizar de las simulaciones propuestas y lo que simbolizan para este proyecto.

### 4.1. Donde se implementó

Teniendo en cuenta la principal ventaja que ofrece el software Arena (Versión 14.0 Académica) en su licencia libre y su liderazgo mundial en simulación de eventos discretos, lo hicieron adecuado para el modelado del sistema de producción avícola construido.

### 4.2. Escenarios de Simulación

La simulación consiste en la introducción de modificaciones en el modelo que después puedan llevarse a la práctica, para así seleccionar la opción que ofrezca mejores resultados. Todos los elementos del modelo, han sido descritos y analizados en las secciones anteriores. Por tanto, se ha pasado a simular el modelo, sobre la base de cuatro escenarios. Los resultados que muestra el modelo de simulación ante estos escenarios se comentarán a continuación mediante el empleo de gráficas extraídas de los datos de la simulación.

En la Tabla 4.1, Tabla 4.2, Tabla 4.3 y Tabla 4.4 se muestran las variables y sus respectivos valores iniciales para cada uno de estos escenarios propuestos. Las variables que no sufrieron cambios en todos los escenarios son permanentes para los distintos ejemplos planteados y pueden ser modificadas para realizar un nuevo escenario con los datos más precisos pertenecientes a la producción avícola.

Variables	Escenarios				Unidades
	E1	E2	E3	E4	
Ingresos	0	0	0	0	Unidades monetarias (u.m.)
Egresos	0	0	0	0	Unidades monetarias (u.m.)
Capital disponible	5.600.000	5.600.000	5.600.000	5.600.000	Unidades monetarias (u.m.)
Precio alimento iniciacion	360	360	360	360	Unidades monetarias/Kg
Precio alimento pre_iniciacion	380	380	380	380	Unidades monetarias/Kg
Precio alimento levante	400	400	400	400	Unidades monetarias/Kg
Precio alimento pre_postura	410	410	410	410	Unidades monetarias/Kg
Precio Alimento produccion	420	420	420	420	Unidades monetarias/Kg
Precio pollita	400	400	400	400	Unidades monetarias/ave
Precio huevo	300	300	300	300	Unidades monetarias/huevo
Tasa de postura	Ver tablas 2.2, 2.3 y 2.4	%/ave/día			
Cantidad de huevos	0	0	0	0	Unidades de huevos/día

**Tabla 4.1.** Valores iniciales de las variables del subsistema de producción y financiero en los distintos escenarios.

Variables	Escenarios				Unidades
	E1	E2	E3	E4	
Cantidad alimento pre_iniciacion	500	500	500	500	Kilogramos/día
Cantidad alimento iniciación	500	500	500	500	Kilogramos/día
Cantidad alimento levante	1000	1000	1000	1000	Kilogramos/día
Cantidad alimento pre_postura	1000	1000	1000	1000	Kilogramos/día
Cantidad alimento produccion	1200	1200	1200	1200	Kilogramos/día
Tope minimo pre_iniciacion	70	300	70	70	Kilogramos
Tope minimo iniciación	100	300	100	100	Kilogramos
Tope minimo levante	150	470	150	150	Kilogramos
Tope minimo pre_postura	200	490	200	200	Kilogramos
Tope minimo producción	250	550	250	250	Kilogramos
Tasa de consumo	Ver tabla 2.1	Ver tabla 2.1	Ver tabla 2.1	Ver tabla 2.1	Kilogramos/ave/día
Consumo alimento pre_iniciacion	0	0	0	0	Kilogramos/Aves/día
Consumo alimento iniciación	0	0	0	0	Kilogramos/Aves/día
Consumo alimento levante	0	0	0	0	Kilogramos/Aves/día

<b>Consumo alimento pre_postura</b>	0	0	0	0	Kilogramos/Aves/día
<b>Consumo alimento producción</b>	0	0	0	0	Kilogramos/Aves pre-iniciación/día
<b>Compra deseada alimento pre_iniciacion</b>	0,5	0,5	0,25	1	Kilogramos/Ave
<b>Compra deseada alimento iniciacion</b>	0,5	0,5	0,25	1	Kilogramos/Ave
<b>Compra deseada alimento levante</b>	1	1	0,5	1,7	Kilogramos/Ave
<b>Compra deseada alimento pre_postura</b>	1	1	0,5	1,75	Kilogramos/Ave
<b>Compra deseada alimento produccion</b>	1,2	1,2	0,6	1,95	Kilogramos/Ave
<b>Compra alimento pre_iniciacion</b>	0	0	0	0	Kilogramos
<b>Compra alimento iniciación</b>	0	0	0	0	Kilogramos
<b>Compra alimento levante</b>	0	0	0	0	Kilogramos
<b>Compra alimento pre_postura</b>	0	0	0	0	Kilogramos

Compra alimento producción	0	0	0	0	Kilogramos
Total consumo pre_iniciacion	0	0	0	0	Kilogramos/Día
Total consumo iniciacion	0	0	0	0	Kilogramos/Día
Total consumo levante	0	0	0	0	Kilogramos/Día
Total consumo pre_postura	0	0	0	0	Kilogramos/Día
Total consumo produccion	0	0	0	0	Kilogramos/Día

**Tabla 4.2.** Valores iniciales de las variables del subsistema de control de inventario de alimento en los distintos escenarios.

Variables	Escenarios				Unidades
	E1	E2	E3	E4	
Aves	1000	1000	1000	1000	Aves/día
Tasa mortalidad pre_iniciacion	0.0357	0.0357	0.0357	0.0357	%/día
Tasa mortalidad iniciación	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142	%/día
Tasa mortalidad levante	0.005357	0.005357	0.005357	0.005357	%/día
Tasa mortalidad pre_postura	0.007142	0.007142	0.007142	0.007142	%/día
Tasa mortalidad producción	0.0002857	0.0002857	0.0002857	0.0002857	%/día
Muerte aves pre_iniciacion	0	0	0	0	Aves/día

Muerte aves iniciación	0	0	0	0	Aves/día
Muerte aves levante	0	0	0	0	Aves/día
Muerte aves pre_postura	0	0	0	0	Aves/día
Muerte aves producción	0	0	0	0	Aves/día

**Tabla 4.3.** Valores iniciales de las variables del subsistema de maduración y ciclo de vida de las aves en los distintos escenarios.

Variables	Escenarios				Unidades
	E1	E2	E3	E4	
Fin pre_iniciación	21	21	21	21	Días
Fin iniciación	56	56	56	56	Días
Fin levante	112	112	112	112	Días
Fin pre_postura	140	140	140	140	Días
Fin producción	665	665	665	665	Días

**Tabla 4.4.** Valores iniciales para la duración de cada etapa de la producción avícola en los distintos escenarios.

En la Tabla 4.5 se muestran los valores iniciales de las variables de comparación que se analizarán en cada uno de los distintos escenarios E1, E2, E3 y E4; estas variables acumulan la suma total de sus respectivas variaciones durante toda la etapa de producción. Según sean los cambios en cada escenario, se analizarán los distintos resultados

Variables	Escenarios				Unidades
	E1	E2	E3	E4	
Suma total de egresos	0	0	0	0	Unidades monetarias (u.m.)
Suma total compra alimento pre_iniciación	0	0	0	0	Kilogramos

Suma total compra alimento iniciacion	0	0	0	0	Kilogramos
Suma total compra alimento levante	0	0	0	0	Kilogramos
Suma total compra alimento pre_postura	0	0	0	0	Kilogramos
Suma total compra alimento produccion	0	0	0	0	Kilogramos

**Tabla 4.5.** Valores iniciales de las variables de análisis de comparación.

#### 4.2.1. Escenario E1. Comportamiento de la población de Aves

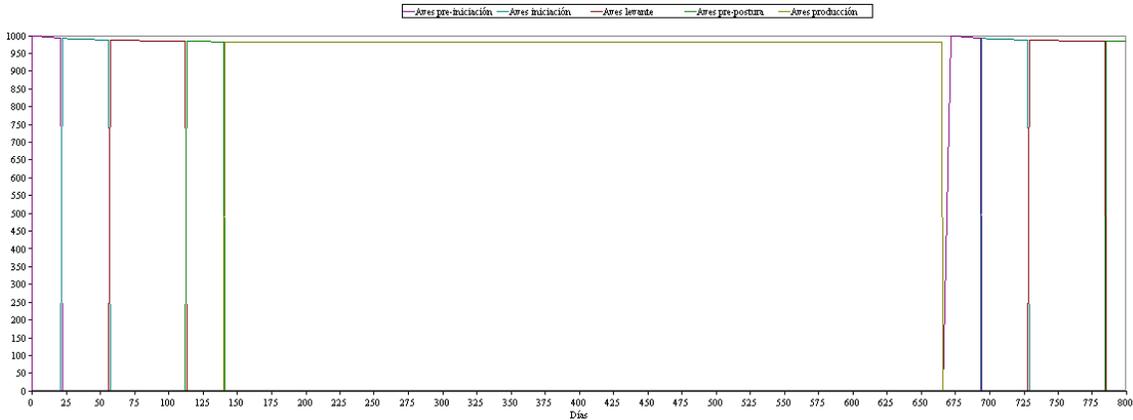
En este escenario se analizó el comportamiento del sistema de producción con un capital disponible de 5.600.000 unidades monetarias y una población de 1000 aves recién nacidas. Se manejó una tasa de mortalidad del 0,0357% por día para la etapa de pre-iniciación con una duración de 21 días, el total de muertes es del 0,75% sobre el total de aves que inician esta etapa.

Para la etapa de iniciación, se manejó una tasa de muerte del 0,0142% por día durante 35 días, al culminar esta etapa se tiene un total de muertes del 0,5% sobre el total de aves que inician esta etapa; para la etapa de levante el porcentaje de muerte total es del 0,3% sobre la cantidad de aves que inician esta etapa, con una tasa diaria de muerte del 0.005357% durante 56 días.

En La etapa de pre-postura se manejó una tasa de mortalidad del 0.007142% por día durante 28 días, con un total de muertes del 0.2% sobre el total de aves que inician esta etapa. Por último, para la etapa de producción se manejó una tasa diaria de muerte del 0.0002857% durante 525 días, con un total de muertes del 0.15% sobre el total de aves que inician esta etapa. Al finalizar todo el proceso productivo, se obtiene un total de muerte de

aproximadamente del 1,9% sobre el total de aves que inician el proceso de producción, sin alejarnos de lo establecido por el marco teórico consultado.

El porcentaje de muerte en las primeras etapas es mayor en comparación a las etapas siguientes debido a las adaptaciones que deben darse a las aves para el ambiente de producción. A continuación, en la Figura 4. 1 se observa el comportamiento que presenta una población de 1000 aves al aplicar un porcentaje total del 1,9% y el reinicio de la producción en el día 672 con la compra de un nuevo lote de aves recién nacidas (cada producción finaliza cada 665 días y a esto se agregan 7 días más necesarios para la limpieza y desinfección del galpón). El decrecimiento de la población en el tiempo se debe al porcentaje de mortalidad que se plateo para cada etapa de la producción.



**Figura 4. 1.** Población de aves con una tasa de mortalidad del 1,9%.

La variación en la población de aves manejadas en los escenarios E2, E3 y E4 son iguales al escenario E1, debido a que se manejó la misma tasa de mortalidad encada uno de estos escenarios, porque es bien conocido que, a mayor tasa de mortalidad, menor es la población de aves (Población de aves inversamente proporcional a la tasa de mortalidad).

#### **4.2.2. Escenario E1. Comportamiento del Alimento disponible**

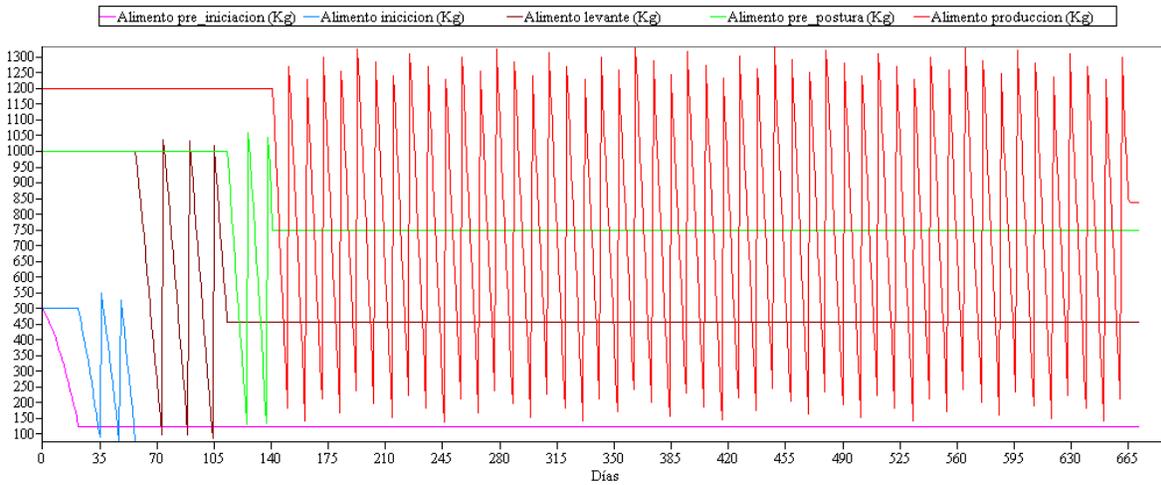
En cuanto al alimento, se tiene en cuenta cierta cantidad de alimento disponible por cada etapa al iniciar el proceso de producción (día 1). La cantidad de alimento disponible para las etapas de pre-iniciación e iniciación es de 500 kilogramos para ambas etapas, y su tope mínimo ésta en 70 y 100 kilogramos respectivamente, y una vez se supere este tope mínimo se considerará la compra deseada del alimento en 0.5 Kilogramos/Ave.

Para las etapas de levante y pre-postura se consideró una cantidad de alimento disponible de 1000 kilogramos y una compra deseada de alimento en 1 Kilogramo/Ave en caso de superar el tope mínimo de alimento de 150 kilogramos para la etapa de levante y 200 kilogramos para la etapa de pre-postura.

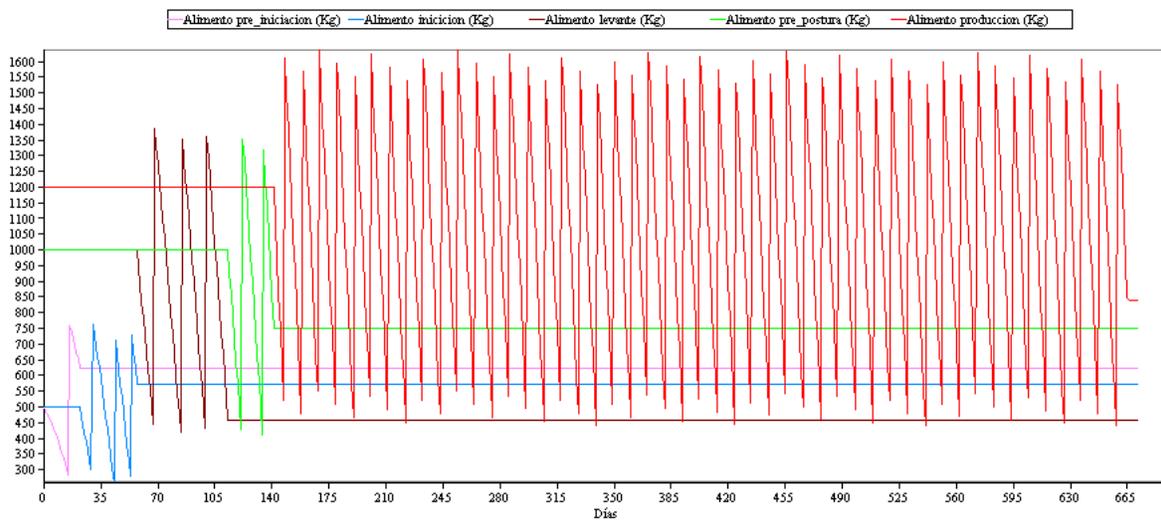
En la etapa de producción se tuvo en cuenta una cantidad de alimento disponible y una compra deseada en 1.2 kilogramos/Ave teniendo en cuenta que en esta etapa la tasa de consumo es más elevada en comparación a las etapas anteriores, y un tope mínimo de 250 kilogramos teniendo en cuentas las mismas razones. A continuación, en la Figura 4.2 se observa el comportamiento del alimento disponible para las condiciones que se acaban de describir.

El consumo diario de alimento es el responsable de la caída del alimento disponible en cada etapa y el aumento es consecuencia directa de la compra deseada del alimento como se observa en la Figura 4.2, Figura 4.3, Figura 4.4 y Figura 4.5. El consumo diario de alimento se basó en la información consultada (ver Tabla 2.1) y las reposiciones de alimento para la etapa de pre-iniciación, iniciación, levante, pre-postura y producción en los escenarios E1 y E2 fue 0.5, 0.5, 1.0, 1.0, 1.2 Kilogramos/Ave respectivamente. Para los escenarios E1 y E2 se manejaron las mismas reposiciones de alimento ya que el propósito de estos dos escenarios es estudiar los cambios en los egresos al disminuir (escenario E1) y aumentar (escenario E2) el tope mínimo de alimento. En el escenario E3 las reposiciones de alimento para las etapas de pre-iniciación, iniciación, levante, pre-postura y producción fue de 0.25, 0.25, 0.5, 0.5 y 0.6 Kilogramos/Ave respectivamente. En cuanto al escenario E4 la reposición de alimento para las etapas mencionadas fue de 1.0, 1.0, 1.7, 1.75 y 1.95 Kilogramos/Ave respectivamente. Las reposiciones del alimento en los escenarios E3 y E4 son diferentes ya que el propósito es estudiar las afectaciones de los egresos cuando se disminuye (escenario E3) y aumenta (escenario E4) la compra deseada de alimento.

En los escenarios E1 y E2 se manejó variaciones en el tope mínimo, como podemos apreciar en la Tabla 4.1, Tabla 4.2, Tabla 4.3 y Tabla 4.4; logrando observar diferentes resultados para el alimento disponible en la Figura 4.2 y Figura 4.3. El tope mínimo para el escenario E1 es menor comparado con el escenario E2. Analizando los resultados obtenidos en la Figura 4.2 y Figura 4.3 se puede apreciar que el alimento disponible es mayor cuando se tiene un tope mínimo mayor (escenario E2, ver Figura 4.3) comprado cuando el tope mínimo de alimento es menor (Escenario E1, ver Figura 4.2), pero este aumento no es beneficioso ya que no se puede hacer uso eficiente del alimento disponible con un tope mínimo mayor. Además, también podemos apreciar que el comportamiento del alimento disponible para un tope mínimo de alimento mayor (ver Figura 4.3), presenta mayor número de picos comparado cuando se tiene un tope mínimo menor (ver Figura 4.2), los cuales representan mayor compra de alimento y por tanto más picos en los resultados que se obtendrán para los egresos.



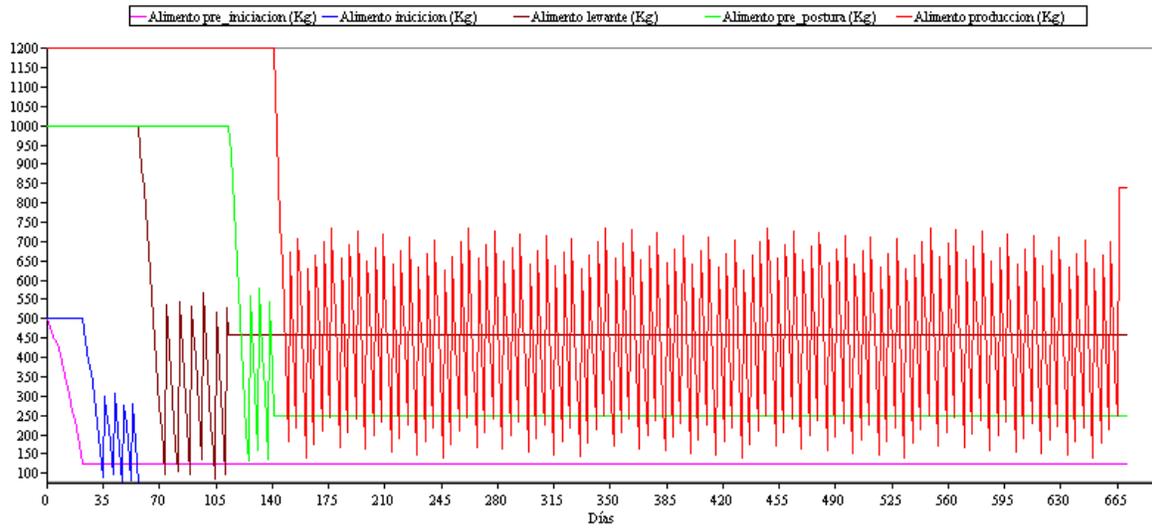
**Figura 4.2.** Alimento disponible por etapa para un tope mínimo de alimento menor (Escenario E1).



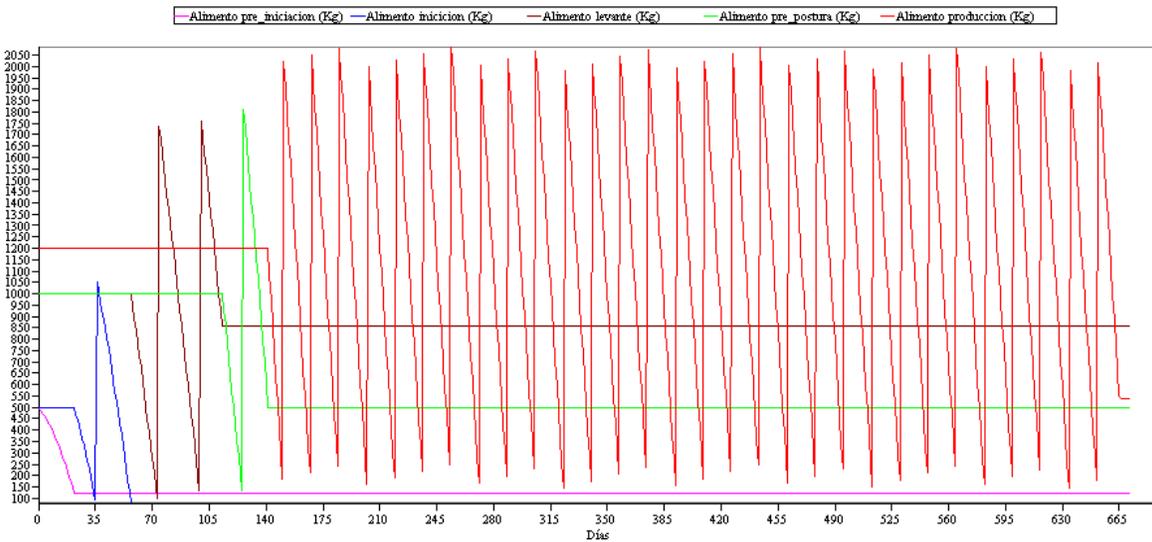
**Figura 4.3.** Alimento disponible por etapa para un tope mínimo de alimento mayor (Escenario E2).

La disponibilidad del alimento para los escenarios E3 y E4 se presentan a continuación en la Figura 4.4 y Figura 4.5 respectivamente teniendo en cuenta variaciones en la compra deseada de alimento. Para el escenario E3 se planteó una compra deseada de alimento menor en comparación con el escenario E4. La compra deseada de alimento afecta directamente el alimento disponible para el consumo de las aves. El comportamiento del alimento disponible para una compra deseada de alimento más bajo (ver Figura 4.4), alcanza un mayor número de picos comparado con el comportamiento que se presenta cuando se aumenta la compra deseada de alimento (ver Figura 4.5). Un mayor número de picos confirman que

se realizaron mayor número compras de alimento, estos mismos picos generan picos en los egresos obtenidos.



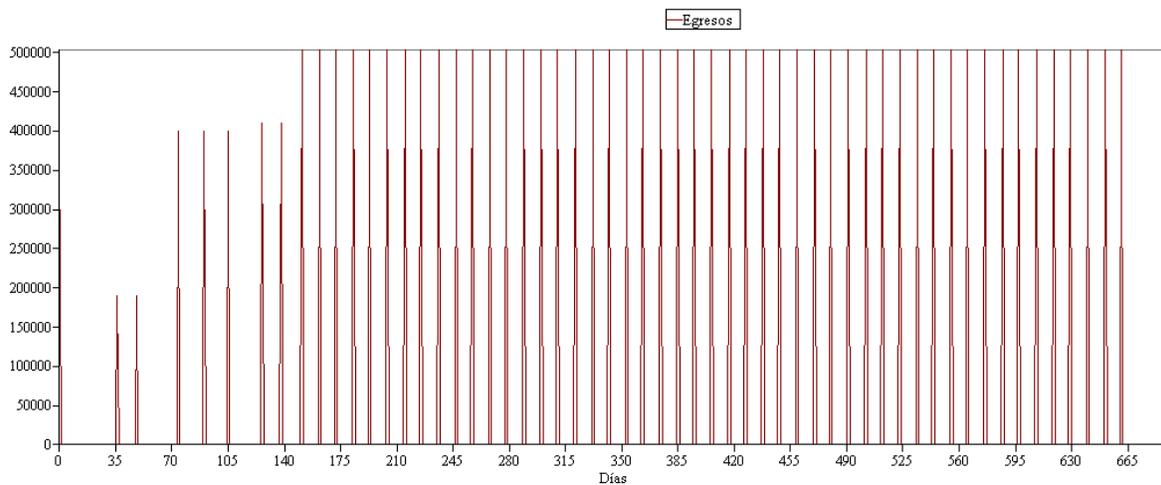
**Figura 4.4.** Alimento disponible por etapa para una compra deseada de alimento menor (Escenario E3).



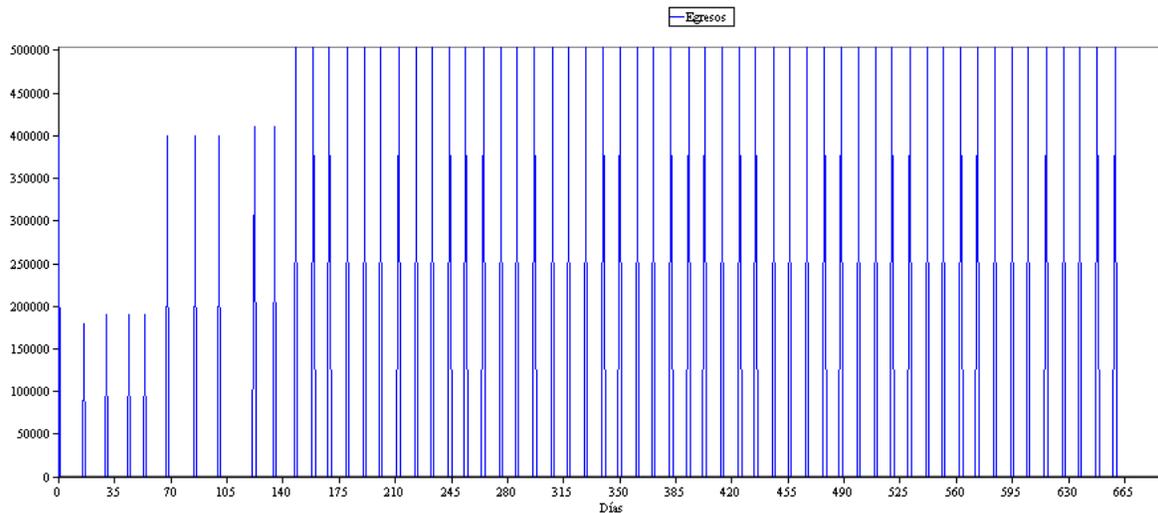
**Figura 4.5.** Alimento disponible por etapa para una compra deseada de alimento mayor (Escenario E4).

### 4.2.3. Escenario E1: Producción y Financiero

Al incrementar el valor del tope mínimo de alimento, se observa que se aumenta la cantidad de veces que se realiza una compra del alimento deseado, pero los egresos por cada compra aparecen con más frecuencia en el tiempo (ver Figura 4.7), para el caso contrario se observa que al disminuir el tope mínimo de alimento disminuye la cantidad de veces que se realiza una compra del alimento deseado, por tanto, los egresos por cada compra (ver Figura 4.6) aparecen con menos frecuencia en el tiempo.

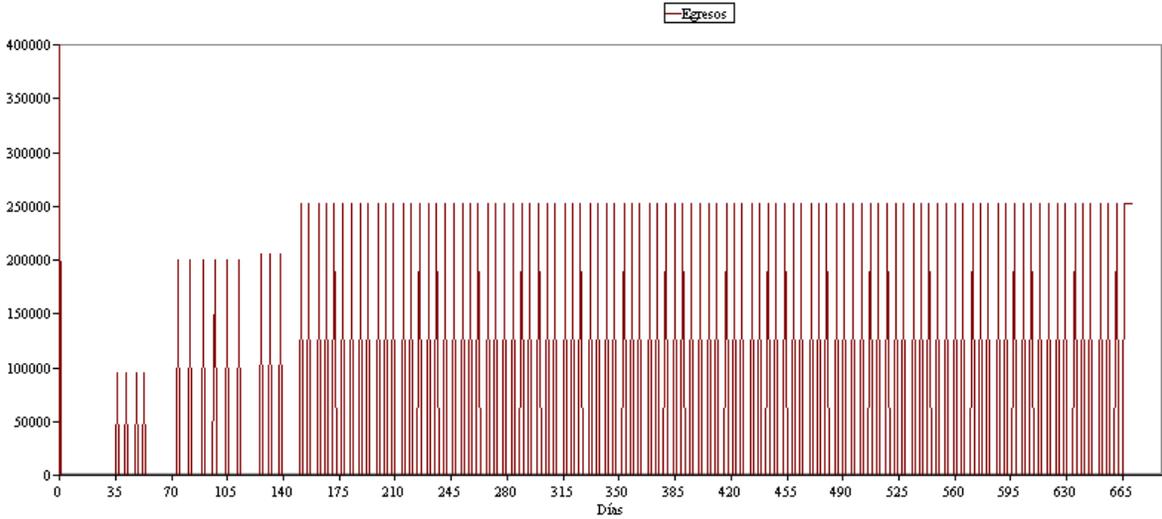


**Figura 4.6.** Egresos generados por la compra de alimento usando un tope mínimo menor (Escenario E1).

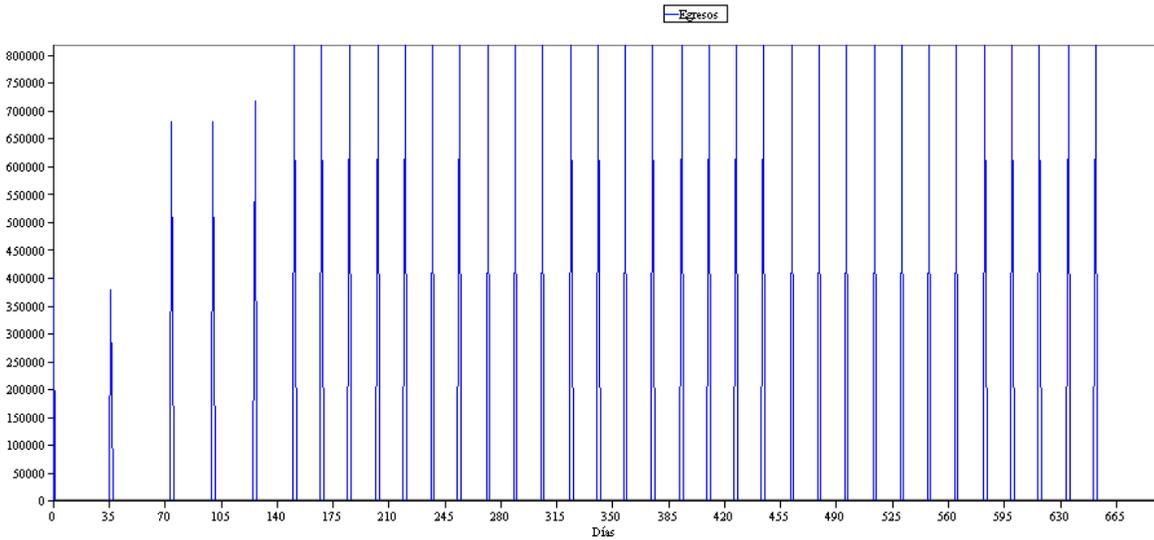


**Figura 4.7.** Egresos generados por la compra de alimento usando un tope mínimo mayor (Escenario E2).

Al incrementar el valor de la compra deseada del alimento, se observa que se disminuye la cantidad de veces que se realiza una compra del alimento deseado, pero los egresos por cada compra son más elevados y aparecen con menos frecuencia en el tiempo (ver Figura 4.9); para el caso contrario se observa que al disminuir la compra deseada del alimento aumenta la cantidad de veces que se realiza una compra del alimento deseado, por tanto, los egresos son menores por cada compra (ver Figura 4.8), pero aparecen con mayor frecuencia en el tiempo.

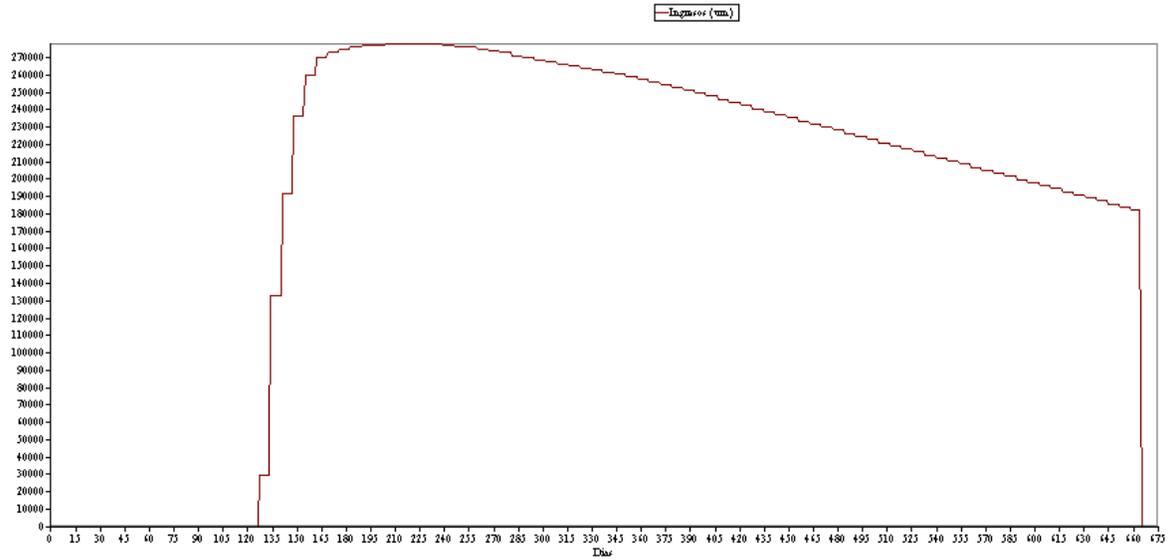


**Figura 4.8.** Egresos generados por la compra de alimento usando una compra deseada de alimento menor (Escenario E3).



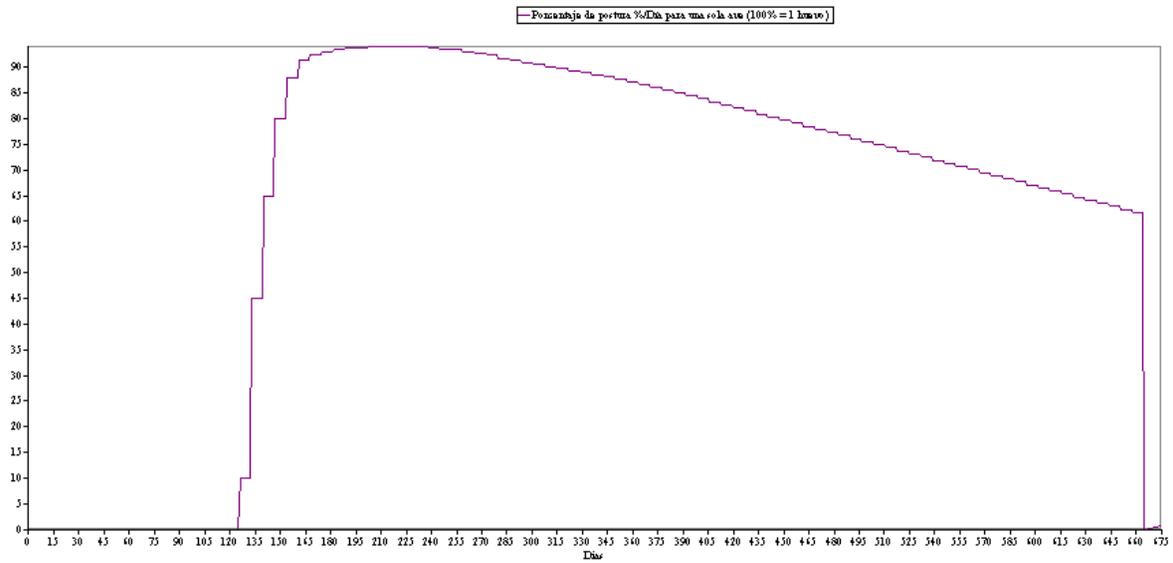
**Figura 4.9.** Egresos generados por la compra de alimento usando una compra deseada de alimento mayor (Escenario E4).

Los ingresos generados por la venta de huevos (ver Figura 4.10), comienzan a partir del día 127 (semana 19) durante la etapa de pre-postura hasta el día 665 (semana 95) cuando finaliza la etapa de producción (ver Tabla 2.2, Tabla 2.3, Tabla 2.4 y Figura 2.2). Estos ingresos se afectan de acuerdo a las ventas de la producción diaria de huevos; se supuso que lo producido a diario se vende cada día, los ingresos solo son afectados por el total de huevos producido a diario y el precio del mismo que figura en 300 COP, con una demanda que obedece a que todo lo ofertado a diario es vendido inmediatamente el mismo día. Según lo dicho cada ingreso diario sigue el mismo comportamiento que presenta la tasa de postura diaria (ver Figura 4.11) y la producción diaria de huevos (ver Figura 4.12).

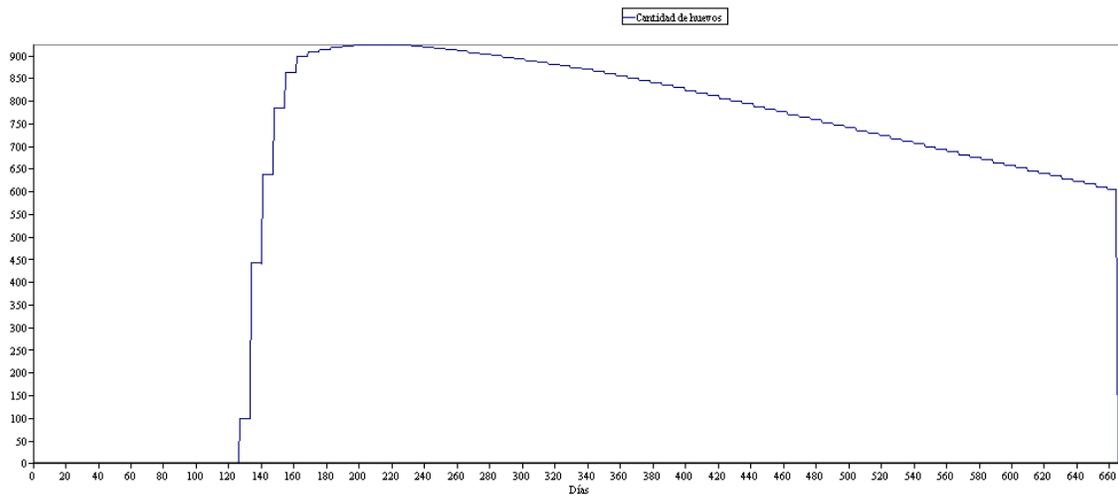


**Figura 4.10.** Ingresos generados por la venta de huevos.

La tasa de postura diaria por ave mostrada en la Figura 4.11, se basó en la información consultada (ver Tabla 2.2, Tabla 2.3 y Tabla 2.4), la cual proporciona los porcentajes de postura por semana. Debido a que la simulación trabajada en este proyecto maneja el porcentaje de postura por día, se hizo necesario realizar una conversión a día, donde 100% es equivalente a 1 huevo/día para una sola ave.



**Figura 4.11.** Tasa de postura diaria de huevos para una sola ave (Tomada de [25]).

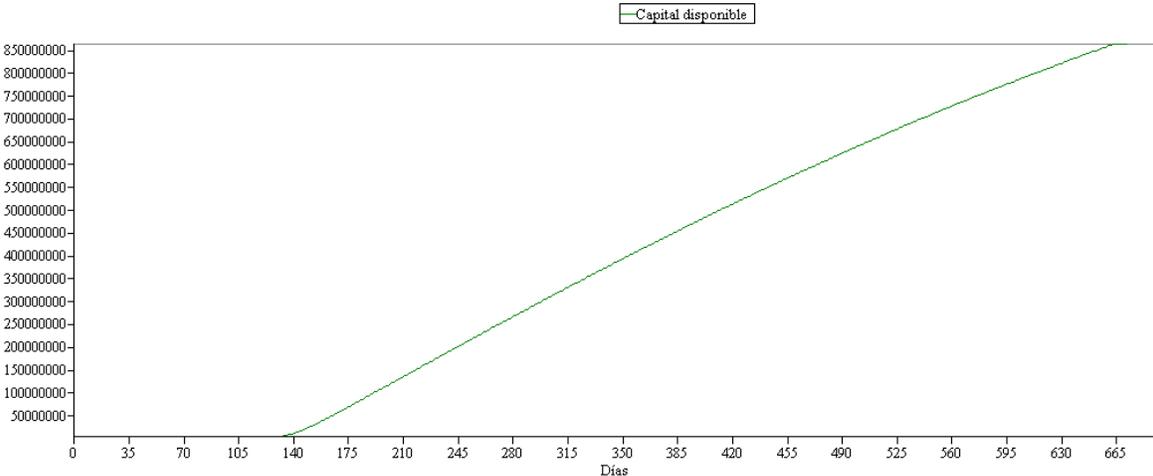


**Figura 4.12.** Postura diaria de huevos según tasa de postura (**Figura 4.11**) y una población inicial de 1000 aves que disminuye de acuerdo a la tasa de muerte diaria.

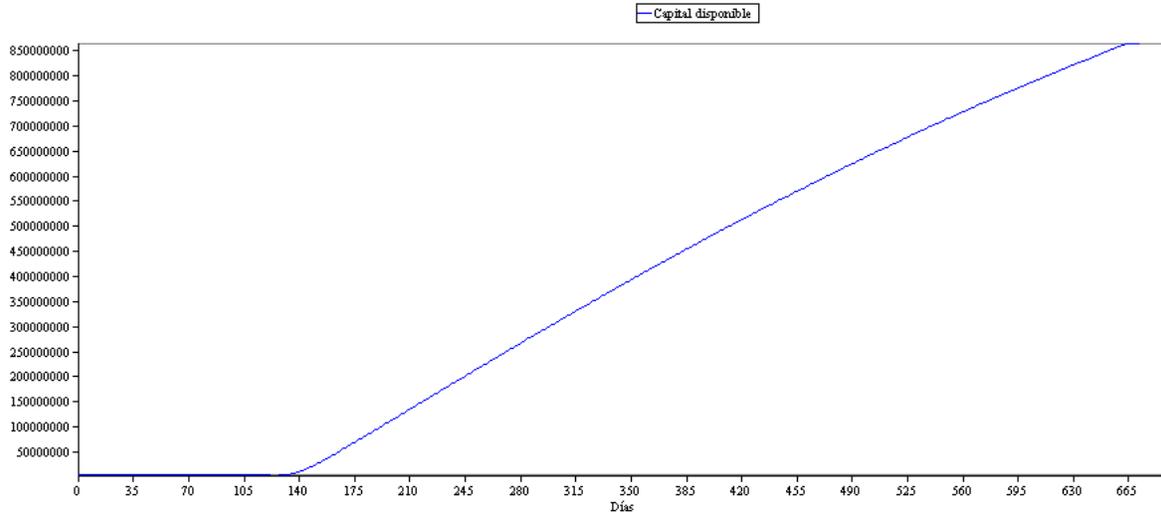
El capital disponible inicia con un valor de 5600000, y su decrecimiento es consecuencia directa de los egresos que se generan a diario por la compra del alimento deseado en cada etapa de producción y la compra de las pollitas recién nacidas cada vez que se dé inicio a un nuevo proceso de producción (ver Figura 4.13, Figura 4.14, Figura 4.15 y Figura 4.16).

El crecimiento del capital disponible se debe a los ingresos generados por la venta de la producción diaria de huevos. Este comportamiento se puede observar en la Figura 4.13, Figura 4.14, Figura 4.15 y Figura 4.16, donde se logra apreciar que el capital disponible disminuye hasta el día 126 (durante la etapa de pre-postura) debido a la compra de las primeras pollitas recién nacidas y a la compra de alimento en las etapas comprendidas en ese tiempo, luego a partir del día 127 se observa un incremento ya que a partir de este día se da inicio a la primera puesta de las aves y por tanto también la venta de la producción de huevos.

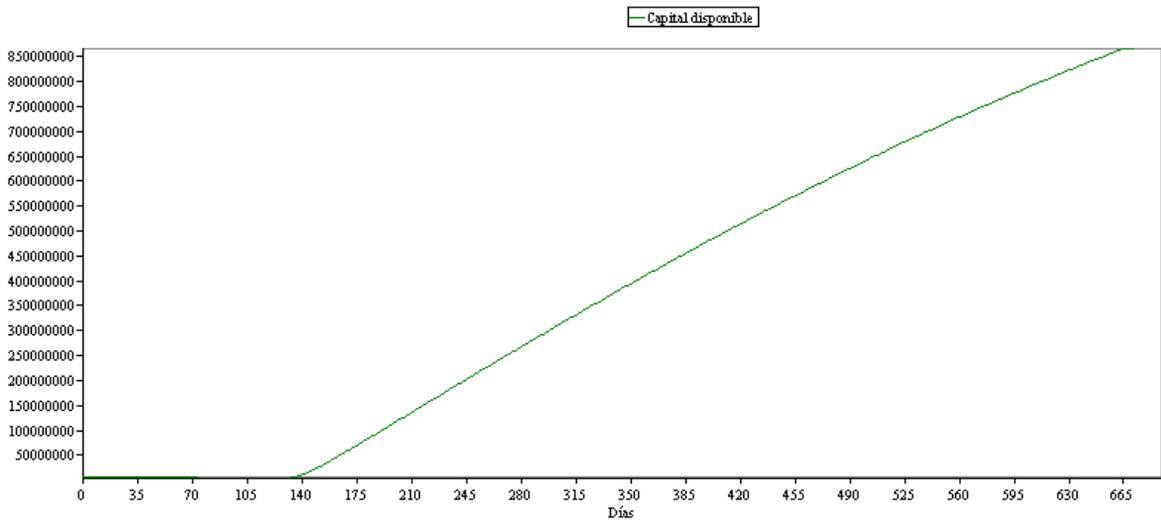
En este trabajo no se tuvo en cuenta inversiones tales como entorno de producción (galpones), transporte, costos de producción, etc.



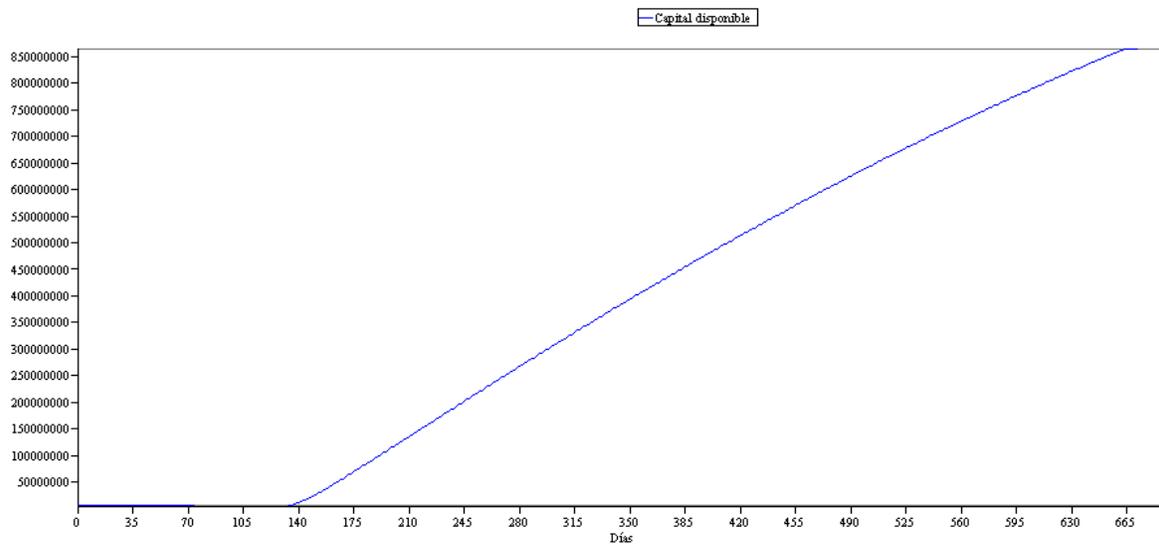
**Figura 4.13.** Comportamiento diario del capital disponible usando un tope mínimo menor (Escenario E1).



**Figura 4.14.** Comportamiento diario del capital disponible usando un tope mínimo mayor (Escenario E2).



**Figura 4.15.** Comportamiento diario del capital disponible usando una compra deseada de alimento menor (Escenario E3).



**Figura 4.16.** Comportamiento diario del capital disponible usando una compra deseada de alimento mayor (Escenario E4).

En el siguiente capítulo se relacionarán los diferentes comportamientos de los escenarios E1, E2, E3 y E4 de manera comparativa con el fin de conocer los mejores resultados para estos datos de análisis que se aprecian en la Tabla 4.1, Tabla 4.2, Tabla 4.3 y Tabla 4.4.

## Capítulo 5.

# Discusión de Resultados.

El modelo que se ha desarrollado para este proyecto no pretende conseguir un cálculo exacto de los factores más influyentes del proceso de producción de huevos. Es preciso destacar que los diversos valores iniciales expuestos en la Tabla 4.1, Tabla 4.2, Tabla 4.3 y Tabla 4.4 y los obtenidos como resultado de la simulación del modelo planteado en este proyecto, no son del todo precisos. Este hecho se encuentra motivado, a que existe una gran dificultad de conseguir valores totalmente exactos debido a que se trata de simulaciones en las cuales juega un papel muy importante la incertidumbre. Ante la ausencia de información bibliográfica, se asumieron condiciones a lo largo de la construcción del modelo. Sin embargo, según los resultados se consideran aceptables y útiles hasta tanto, no se genere una información exacta.

Algunos parámetros mencionados en los escenarios E1, E2, E3 y E4 (ver Tabla 4.1, Tabla 4.2, Tabla 4.3 y Tabla 4.4) presentan un comportamiento constante, mientras que otras son de naturaleza variable. Los parámetros que son variables tal como tope mínimo de alimento y compra deseada de alimento, serán de mayor interés para la obtención de los resultados.

El análisis de los resultados se basa principalmente en el comportamiento del capital de inversión (Capital disponible). El capital de inversión es el factor que más influye en la toma de decisión de la viabilidad de un proceso productivo; este factor varía directamente por los egresos generados por la compra de alimento y por la compra de las aves recién nacidas cada vez que se da inicio a un nuevo ciclo productivo. Si bien es conocido que la compra de las aves recién nacidas solo afecta a los egresos una vez durante toda la producción, también se sabe que la compra de alimento es el factor que más afecta a los ingresos debido a la alta demanda generada por el consumo diario de las aves (ver Figura 4.6, Figura 4.7, Figura 4.8 y Figura 4.9).

La compra del alimento representa la mayor variación en el capital disponible al igual que los ingresos generados por la venta de huevos. Como se ha dicho, el factor que más influencia tiene sobre el capital disponible son los egresos generados por la compra de alimento, y es en este último donde se aplica las condiciones de cada escenario expuesto anteriormente.

Los cuatro escenarios propuestos demuestran que el tope mínimo de alimento y la compra deseada del alimento provocan alteraciones en los egresos ya que, al incrementarse el valor de la compra deseada de alimento o el tope mínimo de alimento, se incrementa la suma total de los egresos generados por la compra de alimento (ver Figura 4.7 y Figura 4.9) y en caso contrario disminuirá (ver Figura 4.6 y Figura 4.8).

En la Tabla 5.1 se analizan la suma total de los egresos obtenidos en cada escenario simulados de los datos de la Tabla 4.1, Tabla 4.2, Tabla 4.3 y Tabla 4.4 y el capital disponible al finalizar la producción, confirmándose lo anteriormente mencionado.

Escenario	Condición	Suma Total de Egresos	Capital Disponible
E1	Se disminuye el tope mínimo de alimento	27.767.550,000	104.685.437,300
E2	Se aumenta el tope mínimo de alimento	29.096.254,000	103.356.733,300
E3	Se disminuye la compra deseada de alimento	27.659.285,000	104.793.702,300
E4	Se aumenta la compra deseada de alimento	28.199.837,500	104.253.149,800

**Tabla 5.1.** Suma total de egresos y capital disponible por cada escenario.

La producción de huevos es mayor a partir del día 154 hasta los 455 días de edad, rango en el cual la producción de huevos comprende aproximadamente un porcentaje de postura que aumenta desde el 80% , sube hasta el 95% y vuelve a decaer nuevamente al 80% (ver Figura 4.11), durante este rango de tiempo, se logra apreciar un aumento significativo en los ingresos (ver Figura 4.10). En los escenarios E1, E2, E3 y E4 se mantuvo intacto los porcentajes de postura de huevos ya que no es relevante variar estos porcentajes ya que es bien sabido que, a mayor porcentaje, mayor es la producción de huevos, y por tanto los ingresos se mantendrán iguales para los distintos escenarios.

En cuanto al inventario del alimento (compra total de alimento) podemos observar en la Tabla 5. 2 que, para un tope mínimo menor del alimento, disminuye el total de la compra de alimento en cada etapa productiva, en comparación cuando se elige un tope mínimo más alto. Otra de las observaciones identificadas es el aumento del inventario de alimento cuando se aumenta la compra deseada del mismo, y el en caso contrario disminuye.

Escenario	Condición	Inventario de Alimento (Kg)				
		Pre-iniciación	Iniciación	Levante	Pre-postura	Producción
E1	Se disminuye el tope mínimo de alimento	0,000	1.487,500	2.963,000	1.970,000	59.070,000
E2	Se aumenta el tope mínimo de alimento	498,500	3.470,500	3.951,000	1.970,000	59.071,200
E3	Se disminuye la compra deseada de alimento	0,000	1.734,500	2.962,500	1.477,500	59.070,000
E4	Se aumenta la compra deseada de alimento	0,000	1.983,000	3.359,200	1.723,750	59.514,000

**Tabla 5. 2.** Inventario de alimento para las distintas etapas de producción en los diferentes escenarios.

# Conclusiones.

En este trabajo se lograron cumplir los objetivos propuestos anteriormente, teniendo en cuenta que la temática planteada teóricamente, se logró evidenciar un alto grado de efectividad con las datas de simulación propuestas en el momento de efectuar las simulaciones en el software Arena; permitiendo obtener un buen resultado en la implementación del modelo, lo cual se puede evidenciar en las gráficas del capítulo 4, dando así una buena perspectiva del modelo de producción avícola desarrollado en este proyecto, permitiendo de esta manera obtener resultados favorables que facilitan su aplicación en proyectos de producción avícola.

La metodología que se utilizó para llevar a cabo la culminación del presente proyecto busco brindar una solución al sistema de producción avícola, lo cual requería conocer detalladamente las variables empleadas en dicho proceso y las interacciones entre ellas, así como detectar los ciclos de retroalimentación que este presenta; con la finalidad de dar una mejor descripción del proceso analizado.

Este proyecto ha modelado el comportamiento de un sistema de producción avícola concentrado en la producción de huevos, permitiendo demostrar que se puede aplicar Dinámica de Sistemas a modelos pecuarios de mediana complejidad, ya que las existencias de lazos de control al interior del modo de explotación pecuaria facilitan su aplicación. Está demás resaltar que el modelo de simulación desarrollada en este trabajo busca brindar un diagnóstico de apoyo para facilitarle al usuario una mejor toma de decisión.

En la actualidad este modelo es aplicable a diversas granjas de producción avícola y su finalidad es hacer que este proceso productivo se ejecute de manera controlada permitiendo así conocer el comportamiento final del sistema y así tomar decisiones relacionadas con la planificación presupuestal, asignación de recursos y políticas de reposición de inventarios, también se busca la retroalimentación en cada nuevo ciclo de producción.

Las simulaciones de sistemas dinámicos de producción permiten observar de ante mano el comportamiento de varios subsistemas relacionados entre sí, teniendo la oportunidad de analizar y tomar decisiones que afectarían el desempeño total del sistema a plazo mediano.

A nivel académico y personal este proyecto representa un reto en el campo de modelamiento de sistema de producción pecuaria, aportando conocimiento a la formación ingenieril. También esta demás resaltar que el modelo de sistema de producción avícola se le puede realizar mejoras futuras y seguir asignándoseles diversas variables de análisis para ampliar su campo de uso.

# Referencias Bibliográficas.

[1] J. L. Torres Flórez y C. Parra Ortega, "Modelo de productividad de una granja avícola usando Dinámica de Sistemas", *EasyChair*, vo. I, nº 1, p. 6, 2017.

[2] A. Sarmiento Vásquez y E. López Sandoval, "Una comparación cualitativa de la dinámica de sistemas, la simulación de eventos discretos y la simulación basada en agentes", *Ulima*, P. 26, 2017.

[3] Á. García Sánchez y M. Ortega Mier, "Introducción a la simulación de sistemas discretos," *Universidad Politécnica de Madrid*, pp. 16-61, 2006.

[4] J. PAZ., "Creación de un modelo de simulación para una granja avícola para evaluar la rentabilidad de esta y como soporte a la toma de decisiones", Tesis. Instituto Tecnológico de Monterrey, México, pp. 29-33, 2007.

[5] H. OCHOA, F. RAMÍREZ, "Cambio del programa de alimentación del pollo de engorde y su efecto económico en el tiempo y peso del mercado". *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Universidad Nacional, Medellín*, Vol 48. Núm 2, 7-39. 1995.

[6] F. REVIDATTI, J. RAFART, R. FERNÁNDEZ, J. TERRAES, R. SANDOVAL. "Rendimiento reproductivo en cruzamientos entre razas tradicionales productoras de huevo y carne". *InVet*, Vol 7. No. 1, Buenos Aires, 2005.

[7] C. A. Castro Castro , L. A. Londoño Ciro y J. C. Valdés Quintero, «Modelación y simulación computacional usando sistemas de información geográfica con dinámica de sistemas aplicados a fenómenos epidemiológicos,» *Facultad de Ingenierías, Universidad de Antioquia*, vol. I, nº 34, pp. 86-100, 2005.

[8] J. W. Zartha S., G. V. Vélez S. y J. F. Herrera S., «Diseño De Un Modelo Para La Evaluación Del Comportamiento Del Consumo De Carne Bovina Usando Dinámica De Sistemas,» *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.*, vol. V, nº 2, pp. 118-125, 2009.

[9] C. Rodríguez Monroy, A. T. Morris, M. E. Martínez Soto y M. A. Gil Araujo, «Simulación mediante dinámica de sistemas del efecto de la gestión del conocimiento en la industria agroalimentaria,» *Researchgate*, vol. I, nº 1, pp. 1-10, 2011.

[10] D. Nuñez, «Dinámica espacio-temporal de la pesca artesanal de Corvina, *Micropogonias furnieri* en la costa uruguaya.» *Academia.edu*, vol. I, nº 1, pp. 1-16, 2014.

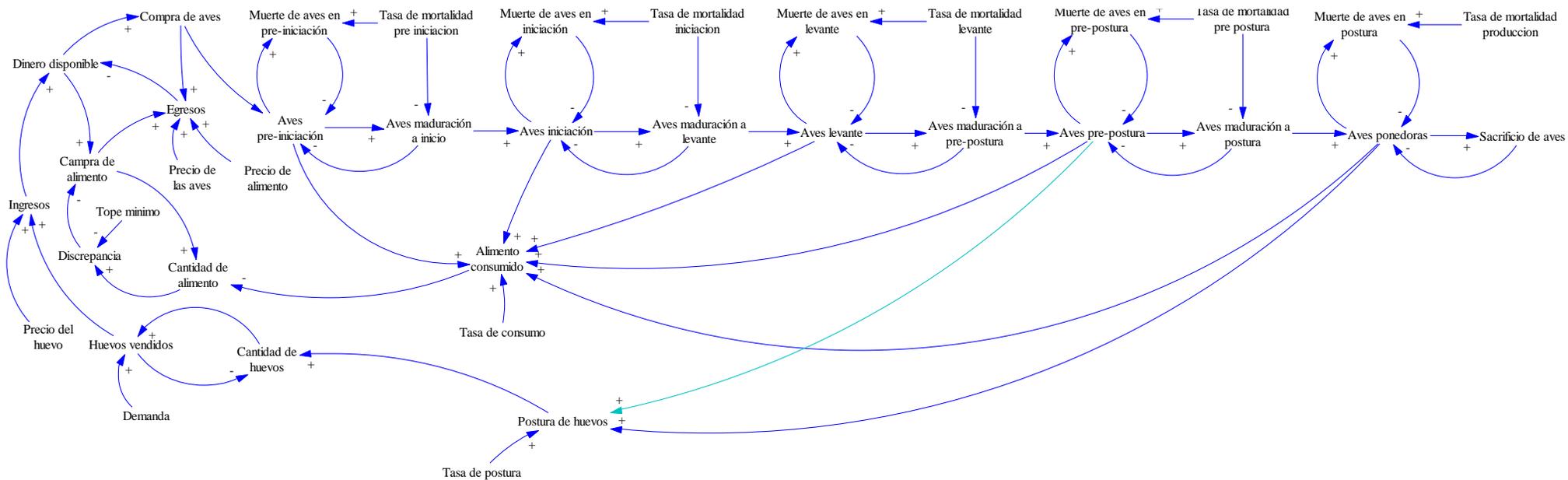
- [11] T. Kasiak y D. A. Godoy, «Simulación de Proyectos de Software desarrollados con XP: Subsistema de Desarrollo de Tareas,» *WICC, Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación.*, pp. 572-576, 2014.
- [12] Zamora Carlos. “Compendio de Cefalometría, Análisis Clínico y práctico”. 1ª ed. AMOLCA. ISBN: 980-6574-04-4. pp. 220-225. 2004.
- [13] Adams CJ, Bell DD. “Predicting poultry egg production”. *Poult Sci* 1980.
- [14] Yang N, Wu C, McMillan I. “New mathematical model of poultry egg production”, *Poult Sci* 1989.
- [15] R. Alvarez, P.M. Hocking. “Modelo estocástico para estimar producción de huevo en reproductoras pesadas”, *Poult Sci*, 2007.
- [16]. Galeano-Vasco, Luis, Cerón-Muñoz, Mario, Rodríguez, Daniel, & Cotes, José M. (2013). “Uso del modelo de distribución con retardo para predecir la producción de huevos en gallinas ponedoras”. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*.
- [17] L. F. Galeano V. “Caracterización de sistemas de producción avícola de huevo mediante la implementación de modelos de predicción y clasificación”, Doctorado en Ciencias Animales, Universidad de Antioquia, 2014.
- [18] Ortiz S. Jaime A. “Manual de Gallinas Ponedoras”. Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA. Colombia 2013.
- [19] Universidad Autónoma de Barcelona. “Manual de Avicultura”. Primera Actualización. Barcelona”, España. UAB.
- [20] Ministerio de Agricultura. “Gallinas ponedoras y producción de huevo Una fuente de proteína animal de bajos costos, al alcance de todos”. Actualización 16. Colombia 2013.
- [21] Lohmann Tierzucht. “Lohmann Brown-Classic Ponedoras, Guía de Manejo Sistemas de Jaulas”. Alemania 2016.
- [22] Universidad Autónoma de Barcelona. “Investigación sobre las causas de mortalidad de gallinas ponedoras durante la primera semana de vida”. Barcelona, España 2012. UAB.
- [23] Javier Torrealdea. “Dinámica de Sistemas, Elementos y estructura de un modelo, Construyendo modelos”.
- [24] J. Aracil, F. Gordillo. “Introducción a la Dinámica de Sistemas”. Alianza Editorial, Ciudad de México, 1995.
- [25] PRONÁVICOLA. Manejo de las Aves Durante el Levante y la Etapa de Producción [en línea], 15 de septiembre de 2017. Disponible en Internet: <http://www.pronavicola.com/contenido/faqs>.

## **Anexo 1**

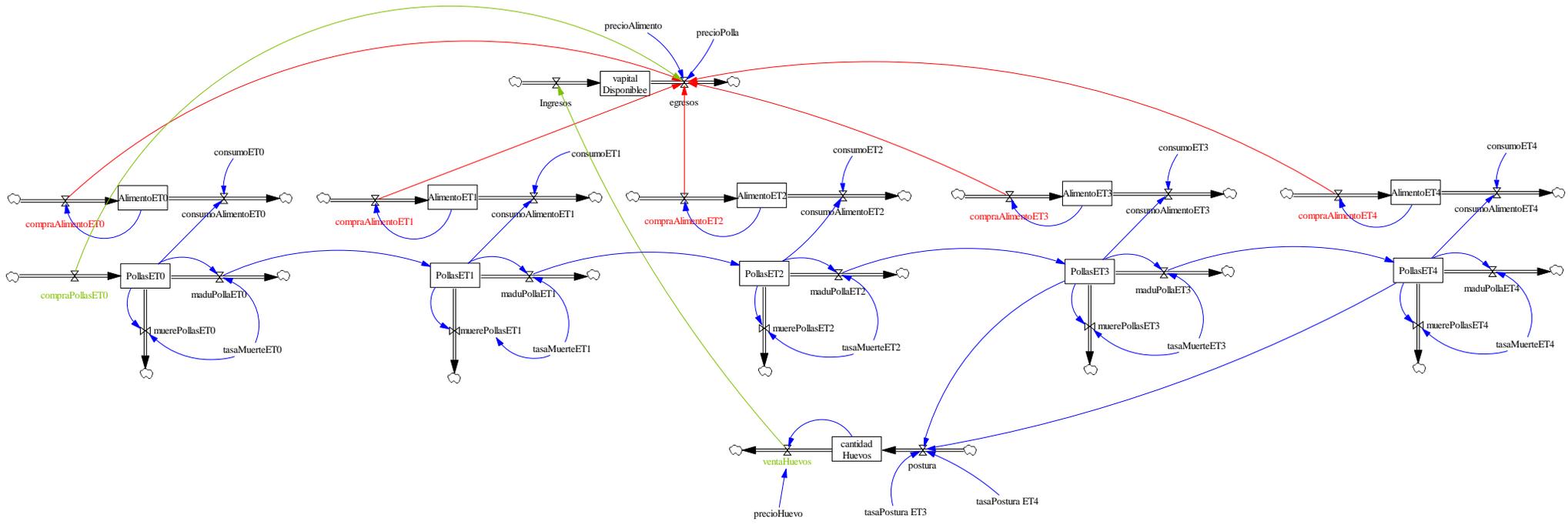
En este anexo se presentan el diagrama causal y el diagrama de Forrester en el que se detallan las interacciones de los subsistemas de población de aves, alimentación, Producción y financiero.

## **Anexo 2**

En este anexo se encuentra el modelo de Simulación desarrollado en el Software Arena (Ver CD Incluido en Libro).



**Figura 1.** Diagrama causal completo del modelo de producción avícola (Anexo 1).



**Figura 2.** Diagrama de Forrester del sistema de producción avícola (Anexo 1).