

*Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”
Facultad de Ciencias Técnicas
Departamento de Ingeniería Industrial*



*“Modelo dinámico de las capacidades productivas en el
sector primario de la Cadena Lechera en Sancti
Spíritus”*

Diplomante: Freddy Companioni Martínez

Tutor: Ing. Manuel Hung Varela

Dra. Caridad R. Pérez González

Curso 2014-2015

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la Cadena Lechera de Sancti Spíritus, como parte del proyecto de intervención AGROCADENAS. La planeación de capacidades productivas en el sector primario tiene un enfoque lineal y determinístico que se aleja de la realidad en el entorno cubano, lo que trae consigo planes y reales de producción con grandes diferencias, tanto en la época de lluvia como en la época de sequía.

Para el diseño del modelo dinámico de capacidades se utiliza un procedimiento propuesto en la literatura especializada, trabajado por varios autores. Se diseñó el modelo dinámico que incluye variables como la tasa de rendimiento de leche por vaca, vacas gestantes y vacas lactando. Se utilizaron aplicaciones informáticas especializadas como el SPSS 15.0 y el Vensim PLE 5.0

SUMMING UP

The present research was completed at Sancti Spíritus Milk Supply Chain, and its part of the intervention project AGROCADENAS. The production capability planning has a lineal and deterministic approach which far away to the cuban reality, and that is the cause of differences between plan and real production, at rain epoch and dry epoch.

To design the capability dynamic model was use a procedure to propose at bibliography. The capability dynamic model was design, and it include variables like milk per cow rate, preened cows and actives cows. It was use SPSS 15.0 and Vensim 5.0 software.

ÍNDICE

Introducción	1
Capítulo I. Marco Teórico Referencial	6
1.1 Estrategia de investigación	6
1.2 Sistemas	6
1.2.1 Propiedades de los sistemas	7
1.3.2 Características de los sistemas	8
1.2.3 Clasificación de los sistemas	8
1.3 Capacidad.....	9
1.3.1 Tipos de capacidades y medidas de desempeño.	10
1.3.2 Unidad de medida de la capacidad.....	11
1.3.3 Estrategias de capacidad	13
1.3.4 Alternativas de ajuste de capacidad	15
1.3.5 Planeación de la capacidad. Métodos	16
1.4 Dinámica de sistemas	17
1.4.1 Causalidad y Diagramas de Bucle Causal.....	18
1.4.1.1 Componentes de un Diagrama de Bucle Causal	18
1.5 Cadenas de Suministro	21
1.6 Cadenas Lecheras	22
1.6.1 Capacidad de producción en Cadenas Lecheras	26
Capítulo II. Procedimiento para el diseño del modelo dinámico de las capacidades productivas en el sector primario de la Cadena Lechera en Sancti Spíritus.	27
2.1 Definición del problema	28
2.2 Conceptualización del sistema	29
2.3 Formalización.....	33
2.4 Comportamiento del modelo	35
2.5 Evaluación del modelo	35
2.6 Explotación del modelo	41

Capítulo III. Diseño del modelo dinámico de las capacidades productivas en el sector primario de la Cadena Lechera en Sancti Spíritus.	44
3.1 Breve introducción.....	44
3.2 Definición del problema.	44
3.3 Conceptualización del sistema	47
3.4 Formalización del modelo	50
3.5 Análisis y validación de comportamiento del modelo	53
3.6 Explotación del modelo	54
Conclusiones	55
Recomendaciones	56
Referencias Bibliográficas	57

Introducción

La capacidad del sistema de producción define los límites competitivos de la empresa. Establece la tasa de respuesta de la empresa a un mercado, su estructura de costos, la composición de su personal, y la estrategia general de inventarios. Si la capacidad no es adecuada, una compañía puede perder clientes, si su servicio es lento o si permite que entre la competencia al mercado. Si la capacidad es excesiva, es probable que la compañía tendrá que reducir precios para estimular la demanda, subutilizar su personal, llevar un exceso de inventario o buscar productos adicionales, menos rentables, para seguir en actividad (Schroeder, Golstein, & Rungtusanatham, 2008).

Por su importancia para el desarrollo económico, político, y social en general, la capacidad productiva constituye un tema tratado por varios especialistas del área del conocimiento como:(Chapman, 2006; Domínguez Machuca, Álvarez Gil, García González, Domínguez Machuca, & Ruíz Jiménez, 1995; Gaither & Frazier, 2000; Heizer & Render, 2004).

Hoy la planeación de las capacidades en las empresas es un asunto complejo y dinámico, ya que como plantea (Kotler & Casliones, 2010) la turbulencia con su consecuente caos, riesgo e incertidumbre, es ahora la condición normal de industrias, mercados y compañías. La turbulencia es la nueva normalidad.

Cuba presenta un agravante a la complejidad, ya que es un país bloqueado económicamente, donde la planificación, y específicamente la planificación de la producción y las capacidades productivas, representan un factor de seguridad nacional y una garantía para el futuro. La importancia de este tema se hace patente en la voluntad política así como en las legislaciones oficiales:

- Resolución 60 del 2011 sobre el Control Interno, sección primera “Ambiente de Control”, artículo 10 a). (Contraloría General de la República, 2011).
- Decreto Ley 281 del Sistema de información del Gobierno, capítulo 5 “Sistema Organización de Bienes y Servicios” establece la estructura

general del sistema de producción en la empresa cubana, y enfatiza en la planificación de la producción y los planes, particularmente en el artículo 203.(Consejo de Estado, 2011)

- Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución, lineamientos generales 1, 7 y 8, así como el lineamiento 181 de la política agroindustrial (Partido Comunista de Cuba, 2011).

Las transformaciones que el proceso de actualización del modelo económico y social del país impulsa en el sector agroalimentario, requieren mejorar y adaptar los mecanismos de planificación y gestión. Más allá de la necesaria capitalización del sector, la adopción de instrumentos y técnicas más adecuadas de producción, organización empresarial, planificación estratégica y económica, representan elementos indispensables para garantizar los resultados asociados a cualquier tipo de inversión que el país realice con recursos propios o de la cooperación internacional (MINCEX, 2014).

En este sentido (capitalización y gestión), a partir de enero 2014, se puso en vigor en Cuba el “Programa de Apoyo al Fortalecimiento de Cadenas Agroalimentarias a nivel local”, más conocido por su nombre corto AGROCADENAS, con una duración de 54 meses; donde intervienen tres ministerios: El Ministerio de la Agricultura en Cuba (MINAG), Ministerio del Comercio Interior (MINCIN) y el Ministerio de la Industria Alimenticia (MINAL). Las prioridades estratégicas del proyecto son:

- Seguridad alimentaria y nutricional.
- Desarrollo económico sostenible.

Se desarrolla en la zona central y oriental del país, específicamente en las provincias de Villa Clara, Sancti Spíritus, Granma y Santiago de Cuba. En el caso de Sancti Spíritus se estudia la cadena del fríjol y la cadena de la leche. Del programa se espera:

- Fortalecer la gestión de las cadenas agroalimentarias.
- Fortalecer las capacidades productivas de las cadenas agroalimentarias.

En la investigación realizada en la primera etapa del proyecto, a través de talleres, trabajo con expertos y recopilación de datos históricos, se determinó que las deficiencias fundamentales en la gestión y específicamente en la planeación de las capacidades productivas en la cadena lechera de Sancti Spíritus son:

- Se realiza con modelos heurísticos y empíricos fundamentalmente, insuficientes para responder a las exigencias de un sistema complejo.
- Planeación lineal y determinista (mecanicista) que no se corresponde con los entornos turbulentos, complejos y difícilmente predecibles.
- Enfoque estático para la planeación de las capacidades.

Estas deficiencias se presentan en toda la cadena, pero de forma acentuada en el eslabón primario, donde las capacidades no solo están condicionadas por el suministro de tecnología importada, fuerza de trabajo capacitada y motivada, sino además por el cambiante clima que incide de forma directa sobre la alimentación del ganado, el estrés del animal por cambio de temperatura y otras variables importantes de la productividad. Esto ha traído consigo insatisfacción del cliente final tanto en calidad, cantidad, como frecuencia y tiempo de entrega, que se manifiesta en la planeación de la producción alejada del equilibrio entre oferta y demanda. La literatura especializada en esta materia fue consultada y se comprobó que no existen modelos dinámicos para la planeación de capacidades para el sector primario de las cadenas lecheras.

Como **problema científico** de la investigación se formula: modelos lineales y estáticos de las capacidades productivas en el sector primario de la Cadena Lechera en Sancti Spíritus que inciden sobre la satisfacción del cliente manifiesto en el equilibrio entre oferta y demanda.

Para la comprobación de la hipótesis se propone como **objetivo general** diseñar un modelo dinámico de las capacidades productivas en el sector primario que

contribuya a la satisfacción del cliente manifiesto en el equilibrio entre la oferta y la demanda en la Cadena Lechera de Sancti Spíritus.

Para el cumplimiento del **objetivo general** se plantean los siguientes **objetivos específicos**:

1. Construir el marco teórico referencial de la investigación a partir del estudio del estado del arte y la práctica de las cadenas lecheras, las capacidades productivas y la dinámica de sistemas.
2. Seleccionar el procedimiento para diseñar el modelo dinámico de capacidades productivas en el sector primario de la Cadena Lechera en Sancti Spíritus.
3. Diseñar el modelo dinámico de capacidades productivas en el sector primario de la Cadena Lechera en Sancti Spíritus.

Como **objeto de la investigación** se tiene las cadenas lecheras en Cuba y por **campo de acción** las capacidades productivas en el sector primario de la Cadena Lechera en Sancti Spíritus.

Para llevar a cabo los objetivos, la estructura del trabajo se ha diseñado de la siguiente forma:

_ **Capítulo I. Marco Teórico Referencial.** En este capítulo se plasma la búsqueda de las literaturas relacionadas con el tema a tratar (estado del arte), así como la teoría de utilidad e importancia para la investigación.

_ **Capítulo II. Procedimiento para el diseño del modelo dinámico de las capacidades productivas en el sector primario de la Cadena Lechera en Sancti Spíritus.**

En este capítulo se establece el modelo dinámico que permite el análisis, planeación y mejora de las capacidades productivas en el sector primario de la Cadena Lechera en Sancti Spíritus.

_ **Capítulo III. Diseño y validación del modelo dinámico de las capacidades productivas en el sector primario de la Cadena Lechera en Sancti Spíritus.**

En este capítulo se puede apreciar la validación del modelo dinámico de las capacidades productivas en el sector primario de la Cadena Lechera en Sancti Spíritus.

Justificación y Viabilidad

La investigación es necesaria para el desarrollo del Programa de Apoyo al Fortalecimiento de Cadenas Agroalimentarias a nivel local AGROCADENAS en Sancti Spíritus. Las condiciones materiales y subjetivas están creadas para llevar a cabo el trabajo.

Resultados esperados

Valor metodológico

Modelo dinámico de capacidades productivas contextualizado en el marco regulatorio cubano para el sector primario de la cadena lechera en Sancti Spíritus.

Valor práctico

Factibilidad y pertinencia en la aplicación del modelo dinámico de capacidades productivas que contribuye a la satisfacción del cliente manifiesto en el equilibrio entre la oferta y la demanda en la Cadena Lechera de Sancti Spíritus.

Capítulo I. Marco Teórico Referencial

1.1 Estrategia de investigación

En el presente capítulo se abordaron los aspectos teóricos más importantes, relacionados con las cadenas lecheras y la PAP; temas que constituyen el soporte teórico a la presente investigación.

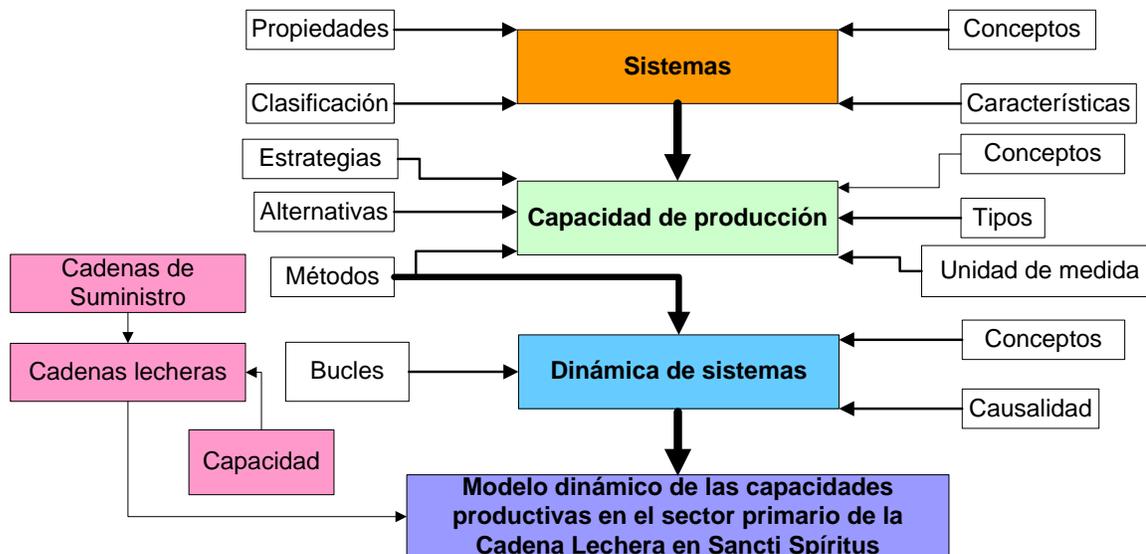


Figura 1.1: Hilo conductor del marco teórico. Fuente: Elaboración propia.

1.2 Sistemas

Desde que el hombre aparece sobre la tierra, su objetivo consiste en dominar el Universo, para lo cual, debe en primer lugar, comprenderlo. Esa comprensión se ve limitada por la propia capacidad del hombre y de sus medios, de forma que todo objeto, toda parte del Universo que somete a su observación y estudio es asimilada por él lo que crea una imagen o modelo del objeto, del entorno y de la relación entre ambos. Es decir, crea un sistema y, como es claro, cada hombre tiene una forma particular de percibir la realidad, podemos decir que los sistemas no existen en la naturaleza, sólo existen en la mente y en el espíritu del que los crea (Sarabia, 1995).

El término sistema se utiliza habitualmente con múltiples sentidos, tantos que resulta difícil dar una definición única que los abarque todos y al mismo tiempo sea

lo suficientemente precisa para servir a propósitos específicos. Se puede partir de la definición de sistema como conjunto de cosas que ordenadamente relacionadas entre sí contribuyen a determinado objetivo (Barceló, 1996).

En un sentido amplio, un sistema puede ser definido como un conjunto de partes interrelacionadas entre sí, en función de un fin. La estructura del sistema es el conjunto de las relaciones no fortuitas que ligan las partes entre ellas y el todo (Menguzzato & Renau, 1991).

Un sistema es un objeto formado por un conjunto de partes entre las que se establece alguna forma de relación que las articula en la unidad que es precisamente el sistema. Se manifiesta como un aspecto de la realidad dotado de cierta complejidad, precisamente por estar formado por partes en interacción. Esta interacción coordina a las partes y dota al conjunto de la una entidad propia (Aracil & Gordillo, 1997).

Todo sistema es viable, en el sentido de sobre vivencia autónoma, tiene alguna forma de vida y una complejidad más allá del alcance (Bravo Carrasco, 1998).

Sistema es un conjunto de elementos interdependientes e interactuantes o un grupo de unidades combinadas que forman un todo organizado. Es un conjunto o combinaciones de cosas o partes que forman un todo unitario (Chiavenato, 2007).

1.2.1 Propiedades de los sistemas

Los sistemas reúnen una serie de propiedades:

- _ El homomorfismo, según la cual dos sistemas que tienen una parte de su estructura igual son homomórficos.
- _ El isomorfismo, que implica que dos sistemas que tengan una estructura idéntica son isomorfos. Esta propiedad permite, por ejemplo, utilizar el concepto de ciclo de vida de los seres vivos a los productos y a la propia empresa.
- _ La equifinalidad, que significa que un sistema puede alcanzar el mismo estado final a partir de diferentes condiciones iniciales y a través de una variedad de caminos.
- _ Entropía negativa, propiedad de los sistemas abiertos según la cual al poder recibir éstos más energía de la que consumen, pueden almacenarla y adquirir entropía negativa para sobrevivir.

_ Sinergia, que supone que el todo (el sistema) es distinto a la suma de las partes (Menguzzato & Renau, 1991)

1.3.2 Características de los sistemas

- Propósito u objetivo. Todo sistema tiene uno o algunos propósitos u objetivos. Las unidades u elementos (u objetos), así como las relaciones definen un arreglo que tienen siempre como fin un objetivo o finalidad a alcanzar.
- Globalización o totalidad. Todo sistema tiene una naturaleza orgánica, por la cual una acción que produzca cambio en una de las unidades del sistema deberá producir cambios en todas sus otras unidades (Chiavenato, 2007).

1.2.3 Clasificación de los sistemas

Existe variedad de sistemas y varias tipologías para clasificarlos. Los tipos de sistemas son:

En cuanto a su constitución, los sistemas pueden ser físicos o abstractos:

- Sistemas físicos o concretos. Se componen de equipos, maquinaria, objetos y cosas reales. Se denominan hardware. Pueden describirse en términos cuantitativos de desempeño.
- Sistemas abstractos o conceptuales. Se componen de conceptos, filosofías, planes, hipótesis e ideas. Aquí, los símbolos representan atributos y objetos, que muchas veces sólo existen en el pensamiento de las personas. Se denominan software.

En cuanto a su naturaleza, los sistemas pueden ser cerrados o abiertos:

- Sistemas cerrados. No presentan intercambio con el medio ambiente que los circunda, pues son herméticos a cualquier influencia ambiental. Siendo así, no reciben influencia del ambiente ni influyen en él. No reciben ningún recurso externo y nada producen que sea enviado afuera. En rigor, no existen sistemas cerrados en la acepción exacta del término. La denominación sistemas cerrados se da a los sistemas cuya conducta es determinística y programada y que operan con pequeño y conocido intercambio de materia y energía con el medio ambiente. También el

término se utiliza para los sistemas estructurados donde los elementos y las relaciones se combinan de forma peculiar y rígida, producen una salida invariable. Son los llamados sistemas mecánicos, como las máquinas y los equipos.

- Sistemas abiertos. Presentan relaciones de intercambio con el medio ambiente por medio de innumerables entradas y salidas. Los sistemas abiertos cambian materia y energía regularmente con el medio ambiente. Se adaptan, para sobrevivir deben reajustarse constantemente a las condiciones del medio. Mantiene un juego recíproco con el ambiente y su estructura se optimiza cuando el conjunto de elementos del sistema se organiza a través de una operación de adaptación. La adaptabilidad es un continuo proceso de aprendizaje y de autoorganización (Chiavenato, 2007)

1.3 Capacidad

La capacidad es la tasa de producción que puede obtenerse de un proceso. Esta característica se mide en unidades de salida por unidad de tiempo: una planta de artículos electrónicos puede producir un número de computadores por año, o una compañía tarjetas de crédito puede procesar cierta cantidad facturas por hora (Schroeder, et al., 2008).

La capacidad es una declaración de la tasa de producción, y por lo general se mide como la salida del proceso por unidad de tiempo. Las empresas que utilizan una medición diferente de la capacidad, por lo general son organizaciones de servicio especializado (Chapman, 2006).

La capacidad es la cantidad de producto o servicio que puede ser obtenido por una determinada unidad productiva durante un cierto período de tiempo (Domínguez Machuca, et al., 1995).

Según (Gaither & Frazier, 2000) la capacidad es la tasa máxima de producción de una organización.

Para (Heizer & Render, 2004) la capacidad es la salida o número de unidades que puede tener recibir, almacenar o producir una instalación en un período determinado.

1.3.1 Tipos de capacidades y medidas de desempeño.

Capacidad diseñada es la salida teórica máxima de un sistema en un período determinado. En general se expresa como una tasa, por ejemplo, el número de toneladas de acero que se producen por semana, por mes o por año.

Esta capacidad es conocida también como capacidad instalada.

Capacidad efectiva es la capacidad que una empresa espera alcanzar dadas las restricciones de operación existentes. Con frecuencia, la capacidad efectiva es menor que la capacidad diseñada debido a que las instalaciones se diseñaron para una versión anterior del producto o para una mezcla de productos diferente (Heizer & Render, 2004).

Dos medidas del desempeño del sistema son particularmente útiles: la utilización y la eficiencia. La utilización es el porcentaje de la capacidad diseñada que se logra en realidad. La eficiencia es el porcentaje de la capacidad efectiva que se alcanza en la realidad (Heizer & Render, 2004)

$$\text{Utilización} = \frac{\text{salida_real}}{\text{Capacidad_diseñada}}$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Salida_real}}{\text{Capacidad_efectiva}}$$

Para (Chapman, 2006) la **capacidad nominal** se define como el producto del tiempo disponible, la eficiencia y la utilización.

La **capacidad demostrada** es la salida de la capacidad real de acuerdo con los registros de producción.

Utilización muestra las horas máximas que está activo el centro de trabajo. Muchos factores pueden afectar el número de horas que el equipo es susceptible de utilizarse: problemas con las máquinas, ausentismo laboral y otros.

$$\text{Utilización} = \frac{\text{Horas_trabajadas}}{\text{Horas_disponibles}} * 100\%$$

Eficiencia mide básicamente la salida real de un área definida, en comparación con la tasa estándar de producción en el mismo número de horas.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Horas_estándar_producidas}}{\text{Horas_trabajadas}} * 100\%$$

1.3.2 Unidad de medida de la capacidad

Según (Gaither & Frazier, 2000), para aquellas empresas que solo producen un producto o unos cuantos productos homogéneos, las unidades utilizadas para medir la capacidad de salida son simples: automóviles mensuales, toneladas de carbón por día, barriles de cerveza por trimestre. Cuando en una instalación se produce una gran variedad de productos se debe establecer una unidad agregada de capacidad.

En el caso de los servicios, la medición de los volúmenes es particularmente difícil. En estos casos se pueden utilizar medidas de capacidad de tasas de entrada. Por ejemplo, las aerolíneas utilizan millas-asiento mensuales disponibles, los hospitales utilizan camas disponibles por mes, las empresas de servicio de ingeniería utilizan horas-hombre por mes.

Según (Domínguez Machuca, et al., 1995) la elección de la unidad de medida a emplear para la planeación y control de la capacidad puede llegar a constituir un problema bastante complicado al verse afectado por varias circunstancias (tipo de configuración y proceso productivo, variedad de productos).

Existen casos en la elección de esta unidad cae por su peso, sobre todo en empresas que trabajan en configuración continua o repetitiva y están orientadas al producto. En estas circunstancias, donde una instalación fabrica siempre un mismo producto (o varios de características técnicas similares) puede establecerse una medida del lado del output (número de coches/semana, número de barriles/semana y otros), que a pesar de ser simple es representativo y define adecuadamente la capacidad. Ello permitiría además, casi directa de la disponibilidad de Capacidad y el Plan de Producción, pues ambos vendrían expresados en las mismas unidades.

En los casos de empresas que trabajan por funciones y con múltiples productos técnicamente diferenciados, la elección de una medida de la capacidad del lado del output se complica. Habrá ocasiones en que se pueda emplear una medida agregada como por ejemplo el número de muebles por semana o los metros de tela confeccionados por día. Dichas medidas recogen un mix de productos, tanto más difícil de determinar cuanto mayor sea su variedad y más factores comunes

se empleen en su obtención. No obstante, y en última instancia, siempre queda la opción de su valoración en unidades monetarias. En todos estos casos, si se consideran los volúmenes de cada producto que pueden procesados en la instalación común durante un mismo período de tiempo, se puede llegar a una medida agregada de la capacidad del lado del output.

Aunque siempre es conveniente disponer de una unidad como la mencionada, sobre todo con propósitos de planificación de capacidad a largo plazo, puede que aquella no sea suficiente para trabajar en horizontes de medio y corto plazo. Conviene pues, conocer las condiciones que ha de cumplir una unidad de medida de la capacidad adecuada, la cual ha de ser:

- **Estable**, o lo es igual, que no requiera continuas revisiones que puedan afectar a las disponibilidades y planes de capacidad. Tal suele ser el caso de las valoraciones en unidades monetarias del mix de productos, que suelen verse influidos por cambios en los precios de venta y costes de los factores.
- **Representativa del factor productivo** cuya capacidad se pretende medir, así como de los productos que incorpora.
- **Adecuada a su objeto**, el cual es permitir el cálculo de la capacidad disponible y su comparación con la necesaria; esto tendrá traducciones diferentes en función del horizonte empleado. Para el caso de las empresas manufactureras donde se planifica a largo plazo para grandes unidades productivas (como instalaciones o factorías completas) y se usan unidades de producción agregadas (como los tipos de producto), el empleo de una unidad del lado del output es lo indicado. No ocurre igual cuando se trabaja a medio y corto plazo, donde las unidades productivas son menores (talleres, máquinas o centros de trabajo) y la producción se mide en productos concretos, componentes e incluso operaciones. En este caso, incluso si existe una medida representativa y estable del lado del output, ésta resultará posiblemente insuficiente para lograr el grado de precisión necesario en la medida de la capacidad.

Las condiciones mencionadas también son válidas para las empresas de servicios. En algunos casos puede existir una medida clara y adecuada de capacidad, por ejemplo, el número de lavados de coche/hora en una estación de lavado. En otros, sin embargo, una unidad que englobe todos los productos (número de pacientes tratados al mes en un hospital, número de asiento-millas en una aerolínea) puede no ser suficiente para una planificación detallada a corto plazo. Por ejemplo, a nivel agregado, el número de médicos del hospital es suficiente para atender a un cierto número de pacientes, medidos también de forma agregada. Si se desagregan los médicos por especialidad y los pacientes por tipo de enfermedad, se comprobaría, posiblemente, que no se estaba en lo cierto. Del mismo modo, si en la compañía aérea no se distingue entre vuelos con *overbooking* habitual y vuelos con baja ocupación, más de un viajero no podrá tomar el vuelo deseado. En este tipo de empresas, el problema se puede agravar, dado que el *output* no es almacenable, su variedad es grande y a veces ha de elaborarse en el lugar donde se encuentra el cliente.

1.3.3 Estrategias de capacidad

Según (Schroeder, et al., 2008) una parte de la estrategia de las instalaciones es la cantidad de capacidad que se suministra en relación con la demanda esperada. Quizá esto se describa mejor mediante el concepto de un “colchón de capacidad” que se define como sigue:

Colchón de capacidad = capacidad – demanda promedio

Como el colchón de capacidad se expresa en relación con el nivel promedio de la demanda, un colchón positivo significa un exceso de capacidad sobre la demanda promedio y un colchón negativo significa que la demanda promedio excederá de la capacidad. Por supuesto, lo ideal sería no utilizar colchón de capacidad, sin embargo, esto es imposible al enfrentarnos a la fluctuación de la demanda.

Es posible adoptar tres estrategias en relación con la cantidad de colchón de capacidad:

- **Tratar de no agotar.** En este caso se utiliza un colchón positivo de capacidad. La empresa trata de ir más allá del pronóstico de demanda

promedio y dar cierta capacidad adicional. Esta estrategia resulta apropiada cuando hay un mercado en expansión ó cuando el costo de construcción y operación de la capacidad es bajo en relación con el costo que implicaría la falta de capacidad. El suministro de energía eléctrica parece adoptar este enfoque, puesto que los apagones en general no son aceptables. Las compañías en mercados crecientes también pueden adoptar un colchón de capacidad positivo puesto que les permite capturar participación en el mercado adelantándose a sus competidores. Además, en los mercados en crecimiento existe un menor riesgo de tener una capacidad inútil durante mucho tiempo puesto que el mercado está en expansión.

- **Construir de acuerdo con el pronóstico promedio.** En este caso la compañía es más conservadora en relación con la capacidad que suministra. Si se construye de acuerdo con el pronóstico promedio existirá un 50 % de probabilidades de que se agote la capacidad y un 50 % de probabilidades de tener un exceso de capacidad, se supone una distribución de la demanda con probabilidad simétrica. Esta estrategia se utilizaría cuando el costo (ó las consecuencias) de agotar la capacidad está aproximadamente balanceado con el costo del exceso de capacidad.
- **Maximizar la utilización.** En este caso se planea un colchón de capacidad pequeño ó negativo para maximizar la utilización. Esta estrategia resulta apropiada cuando la capacidad es muy costosa en relación con el agotamiento del inventario como es el caso de las refinerías de petróleo, fábricas de papel y otras industrias con mucho uso del capital. Estas instalaciones operan de manera rentable solamente con porcentajes de uso de la capacidad que se aproximan al 90 ó al 100 %. En esta estrategia existe la tendencia a maximizar las ganancias a corto plazo, sin embargo, podría dañar la participación en el mercado a largo plazo en especial cuando los competidores utilizan colchones de capacidad más grandes y la demanda se desarrolla con exceso a la capacidad.

Para (Heizer & Render, 2004) las estrategias se resumen en el gráfico siguiente:

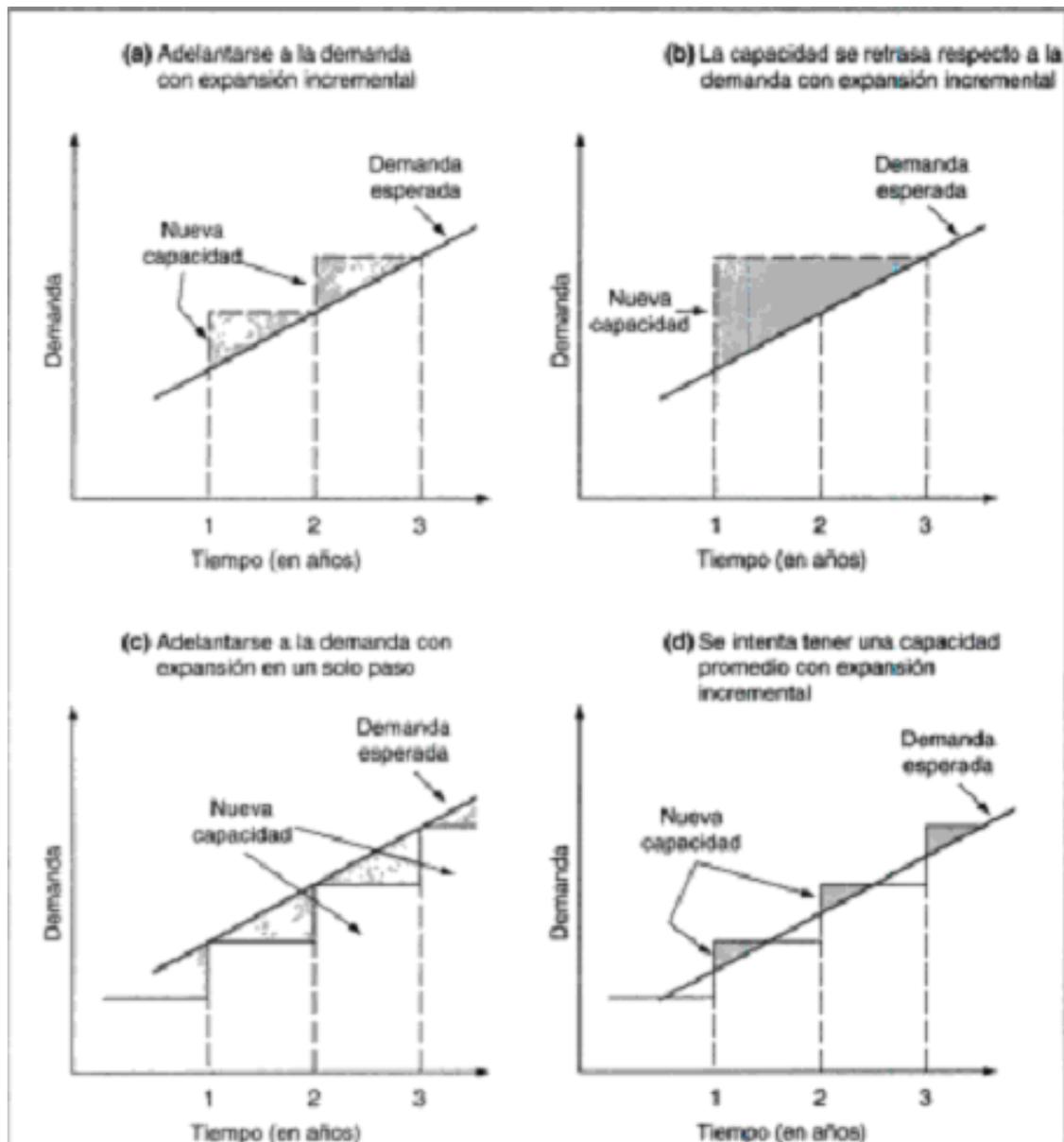


Gráfico 1.1 Estrategias de capacidad. Fuente: (Heizer & Render, 2004)

1.3.4 Alternativas de ajuste de capacidad

Según (Gaither & Frazier, 2000), las formas de modificar la capacidad a largo plazo se muestran en la tabla siguiente:

TABLA 7.1

MANERAS DE MODIFICAR LA CAPACIDAD A LARGO PLAZO

Tipo de modificación de la capacidad	Manera de encarar los cambios a largo plazo en la capacidad
Expansión	<ol style="list-style-type: none"> 1. Subcontratar a otras empresas para que se conviertan en proveedores de componentes o de productos completos de la firma en expansión. 2. Adquirir otras empresas, instalaciones o recursos. 3. Desarrollar sitios, construir edificios, adquirir equipo. 4. Expandir, actualizar o modificar instalaciones existentes. 5. Reactivar instalaciones que están en estado de reserva.
Reducción	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vender instalaciones, vender inventarios, y despedir o transferir empleados. 2. Guardar las instalaciones y colocarlas en un estado de reserva, vender inventarios y despedir o transferir empleados. 3. Desarrollar e introducir nuevos productos conforme se introducen otros.

Tabla 1.1 Maneras de modificar la capacidad a largo plazo. Fuente: (Gaither & Frazier, 2000)

1.3.5 Planeación de la capacidad. Métodos

Para (Domínguez Machuca, et al., 1995) la planeación de la capacidad tiene cuatro momentos fundamentales: planeación de necesidades de recursos, planificación aproximada de la capacidad detallada, planificación de la capacidad detallada y la planificación de talleres. Esto se resumen en el siguiente diagrama:

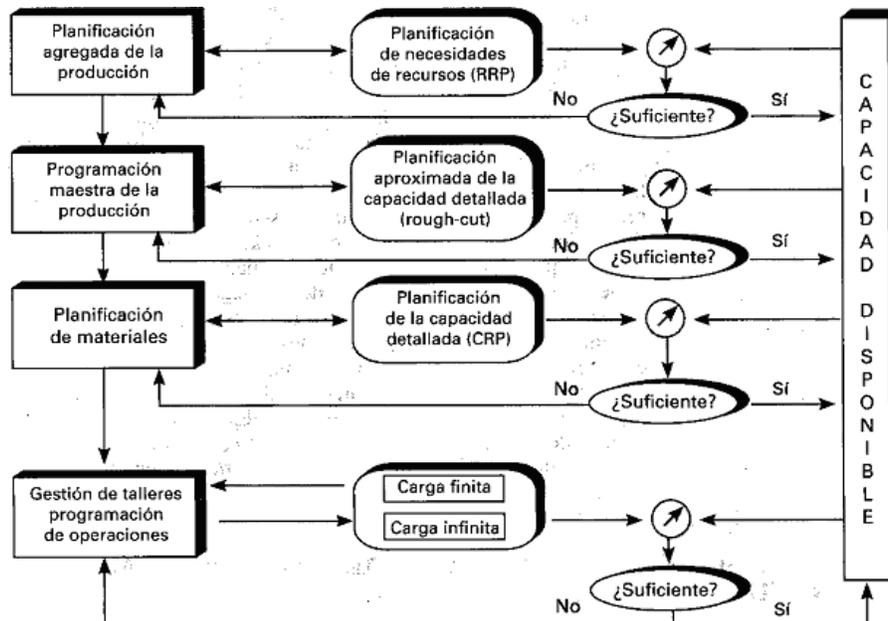


Diagrama 1.1 Niveles de planeación de la capacidad. Fuente: (Domínguez Machuca, et al., 1995)

De forma general, los métodos que predominan en la literatura consultada son de tipo heurísticos. (Heizer & Render, 2004) trabajan el Punto de Equilibrio, plantean que es una herramienta eficaz para determinar la capacidad de las instalaciones con un enfoque económico, con la finalidad de lograr rentabilidad. (Gaither & Frazier, 2000) plantean que el Árbol de Decisiones es eficaz en la toma de decisiones de capacidad ya que esta se presenta en múltiples fases y maneja elementos inciertos, donde el valor esperado es el criterio de decisión.

1.4 Dinámica de sistemas

Según (Aracil, 1995), la dinámica de sistemas es la disciplina para el estudio de las relaciones entre la estructura y el comportamiento de un sistema con ayuda de modelos informáticos de simulación.

La dinámica de sistemas es un método de resolución de problemas complejos donde figura la tecnología, sin estar limitado a ella, en el contexto de los entornos físicos, sociales, económicos y culturales en los que estos problemas existen (Drew, 1995)

La Dinámica de Sistemas es una metodología para el estudio y manejo de sistemas de realimentación complejos. Una de las características de esta

disciplina es el uso del computador para realizar sus simulaciones, lo que ofrece la posibilidad de estudiar el comportamiento y las consecuencias de las múltiples interacciones de los elementos de un sistema a través del tiempo (Morlán Santa Catalina, 2007)

La DS es una metodología de apoyo para pensar problemas en términos de sistemas. El objetivo es pensar acerca de sistemas complejos, en los cuales hay partes componentes e interacciones entre ellas. Para ello se utiliza un modelo computacional que pone de manifiesto las relaciones entre la estructura o grafo del sistema y su comportamiento (Godoy & Bartó, 2002)

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 (Torrealdea, 2008)

1.4.1 Causalidad y Diagramas de Bucle Causal

El concepto de causalidad ha ocupado a científicos y pensadores durante más de dos mil años. Una de las preguntas de fondo es ¿puede el ser humano conocer las relaciones causales? Algunos autores consideran que las verdaderas causas no se pueden conocer; pero la experiencia repetida de cadenas de eventos (primero <X> luego <A>) conduce a atribuir causas. En dinámica de sistemas, se trabaja con atribuciones causales (Schaffernicht, 2009)

Se ha desarrollado un lenguaje de diagrama muy simple, que ha sido usado para describir lo esencial de modelos de simulación complejos, y que puede ser usado también para elaborar un modelo cualitativo preliminar: los diagramas de bucle causal (DBC). Muchos textos no técnicos, hacen uso extensivo de estos diagramas.

Un diagrama de bucle causal consiste de bucles con una determinada polaridad; el conjunto de bucles opera a través de variables ligadas entre ellas por vínculos causales con una determinada polaridad. Tal diagrama debe contener todas las variables y todos los vínculos causales relevantes.

1.4.1.1 Componentes de un Diagrama de Bucle Causal

Los dos componentes elementales de los DBC son variable y vínculo causal.

Una variable es una entidad que se distingue del resto del mundo, al menos, desde el punto de vista del ser pensante que lo observa. Se asume que durante el tiempo considerado, la variable es estable: si bien sus valores pueden cambiar, la variable existirá sin excepción. Se pueden reconocer por el hecho de que son sustantivos, pueden ser objetos o atributos de objetos.

Un vínculo causal es una -hipotética- relación entre dos variables, que establece que un evento que ocurre en la variable causante tendrá un efecto distintivo en la variable afectada (Schaffernicht, 2009)

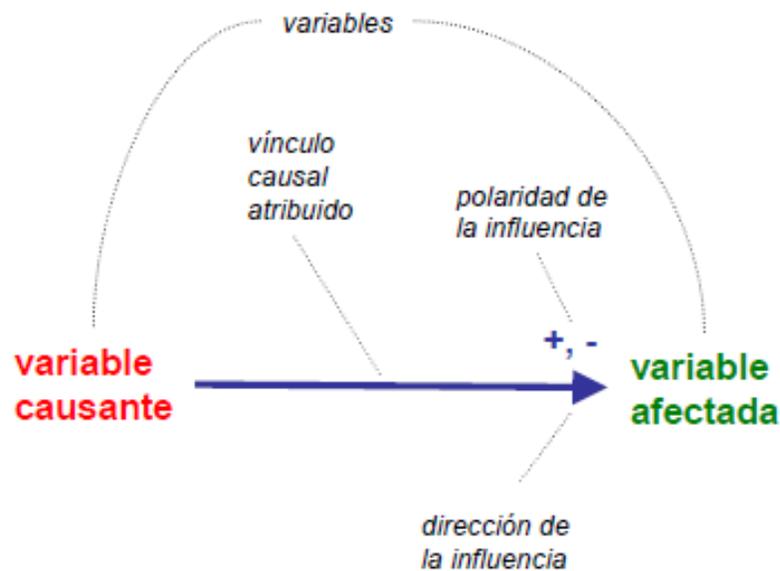


Figura 1.2 Vocabulario esencial de los diagramas de bucle causal.

Fuente: (Schaffernicht, 2009)

La polaridad expresa la relación entre los signos de cambio.

- Polaridad positiva: cuando la variable independiente cambia en un sentido (con signo positivo/negativo), entonces desde este momento en adelante, los valores de la variable dependiente serán más altos/bajos de lo que habrían sido (símbolo "+");
- Polaridad negativa: cuando la variable independiente cambia en un sentido (con signo positivo/negativo), entonces desde este momento en adelante, los valores de la variable dependiente serán más bajos/altos de lo que habrían sido (símbolo "-").

La idea de causalidad significa que un evento ocurrido en una variable tendrá un efecto en la otra; sin embargo, esto no dice nada sobre el tiempo que será necesario para que el evento de la variable causante llegue a tener efecto en la variable afectada. En el mundo material, esto siempre toma un tiempo no nulo.

La percepción del ser humano no es inmediata; hasta los reflejos automáticos se demoran. Por ejemplo, para que un automovilista empiece a frenar al ver un peatón saltar a la vereda, pasa hasta una décima parte de segundo, y si andaba a 100 Km/h, es decir 100.000 metros 3600 segundos, entonces su auto habrá avanzado de $100.000/36.000 =$ aproximadamente 3 metros en este tiempo.

En las empresas y las organizaciones, los eventos ocurren continuamente, pero el ritmo de los reportes a la gerencia es por semana, por mes y hasta periodos más largos. En el sistema educacional, se intenta medir la calidad cada 4 años (para un mismo curso). Los gobiernos se eligen cada 4 años.

Es importante señalar claramente los vínculos causales que son más lentos que los demás, en un diagrama causal. Se utiliza un símbolo distintivo para representar las demoras como se muestra a continuación:

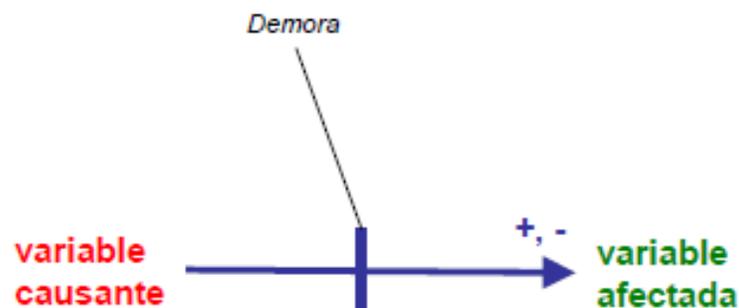


Figura 1.3 Representación gráfica de la demora en un DBC.

Fuente: (Schaffernicht, 2009)

Se distinguen tres tipos de variables en función de su propio cometido en el modelo. Variables de nivel, variables de flujo y variables auxiliares.

Los **niveles** suponen la acumulación en el tiempo de una cierta magnitud. Son las variables de estado del sistema, en cuanto que los valores que toman determinan la situación en la que se encuentra el mismo.

Los **flujos** expresan de manera explícita la variación por unidad de tiempo de los niveles. No es siempre inmediato decidir cuál de los tres tipos será el apropiado para representar a un elemento determinado del sistema real en estudio. Pensar en un cierto nivel de agua y en un grifo que lo abastece es una buena metáfora para mejor comprender los significados respectivos de estos dos tipos de variable. Las variables **auxiliares** son, como su nombre indica, variables de ayuda en el modelo. Su papel auxiliar consiste en colaborar en la definición de las variables de flujo y en documentar el modelo haciéndolo más comprensible.

Además de las variables reseñadas, en todo modelo habrá también parámetros, o sea, variables que se mantienen constantes durante todo el horizonte temporal de ejecución del modelo (Torrealdea, 2008).

1.5 Cadenas de Suministro

Para (Torres Gemeil, Daduna, & Mederos Cabrera, 2007) una cadena de suministro es la integración de las empresas que participan en la producción, distribución, transportación, manipulación, almacenamiento y comercialización de un producto y sus componentes en función de optimizar utilidades y satisfacción al cliente.

Las decisiones relacionadas a la cadena de suministro caen dentro de tres fases: Diseño de la estrategia de la Cadena de Suministro, Planeación de la Cadena de Suministro, Operación de la Cadena de Suministro. Dos formas de ver la cadena de suministro es por ciclos o por Empujar/Jalar. Si se ve por ciclos existe el ciclo del cliente, el del minorista, el del distribuidor, el del manufacturero y el del proveedor. Si se ve por Empujar/Jalar, los procesos en la cadena de suministro se dividen en dos: aquellos que funcionan con la lógica de empujar y aquellos que funcionan con la lógica de jalar. Los procesos dentro de la cadena de suministro se pueden clasificar en tres Macroprocesos: Administración de la Relación con el Cliente, Administración Interna de la Cadena de Suministro, Administración de las Relaciones con los Proveedores (Chopra & Meindl, 2004).

Los tres aspectos primarios de la estructura de la red de una compañía son:

- Los integrantes de la cadena de suministro.
- Las dimensiones estructurales de la red.
- Los diferentes tipos de vínculos de los procesos a través de la cadena de suministro.

La Gestión de la Cadena de Suministro (del inglés: *Supply Chain Management* (SCM)) constituye una filosofía que busca sincronizar totalmente los eslabones de la misma. Es la estrategia a través de la cual se gestionan todas las actividades y las empresas de la Cadena de Suministro en función de un beneficio global, donde cada empresa no debe buscar su desempeño óptimo individual sino aquel que se traduzca en el desempeño óptimo de la cadena (Torres Gemeil, et al., 2007)

1.6 Cadenas Lecheras

La leche es un bien cuya producción se encuentra diseminada por amplias regiones del mundo, se produce en el 85% aproximadamente de los países del planeta.

Por continentes, Europa es el principal productor de leche cruda. En el 2002 participó con el 42% del total mundial (210 millones de toneladas), seguido de América con el 29% (142,8 millones de toneladas), Asia 21%, Oceanía 5% y África 4%. Sin embargo por países, el principal productor mundial de leche fresca es Estados Unidos con participación del 15,3 % (75 millones de toneladas), más del doble de lo obtenido por su más cercano competidor, India con 6,9%, seguido de Rusia 7%, Alemania 6%, Francia 5%, y Brasil 4%. Colombia se ubica en el puesto 22 con una producción cerca de los 5.750 miles de toneladas correspondiente al 1,2% de la producción mundial.

Brasil, Argentina y Colombia son los más importantes productores de leche fresca de América del sur. Además son importantes las producciones de Nueva Zelanda y Australia, por el mayor crecimiento presentado en los últimos doce años ya que cuentan con óptimas condiciones agroecológicas para la producción, en conjunto

crecieron un 5%. Los países que han tenido un crecimiento representativo en los últimos diez años han sido India con el 4,1% y Brasil con el 3,8%.

La leche fresca, por ser un producto perecedero, y que su transporte acarrea altos costos, se produce para ser comercializada fundamentalmente a nivel interno, y se dirige a suplir la demanda de los procesadores del producto, pues no es apta para el consumo humano directo. Esto explica, que el comportamiento de las variables producción y consumo tengan grandes similitudes en el contexto mundial (Beltrán Sánchez, 2004).

Las Cadenas Lecheras en Cuba tienen cinco eslabones principales, como son: producción primaria, acopio, procesamiento, distribución y comercialización interna y externa:

- **Producción primaria:**

La base productiva del país está compuesta por:

- a) **sector estatal:** 212 Granjas
- b) **sector no estatal:** 504 UBPC, 209 CPA, 275 CCS y productores privados dispersos (campesinos)

- **Acopio:**

- a) Aprobación de la Resolución 152-2007 del Ministerio de Finanzas y Precios, para la implementación de un nuevo sistema de precios de la leche de acopio y otros productos lácteos, con bonificaciones y penalizaciones de acuerdo con la calidad de la misma, así como fija los precios de insumos para la producción lechera.
- b) Se dispara la producción primaria de leche en el país.
- c) Experiencias de entrega de leche directa a centros locales de comercialización (bodegas y mercados) por parte de productores primarios localizados en lugares distantes de la industria procesadora.

A partir de este momento se comenzarán a distinguir entonces dos formas de traslado de la leche en el país:

a) acopio, referido al realizado directamente por la industria láctea mediante su propio parque de transporte (deficiente actualmente).

b) acarreo, referido al traslado de la leche desde la finca o unidad, a veces localizada en zonas de difícil acceso, hasta una bodega, tienda, centro de recepción o acopio intermedio para la industria, empleando medios de tracción animal o tractores.

- **Procesamiento:**

En el presente la industria está formada por 17 empresas estatales localizadas a lo largo de todo el país, con 84 plantas industriales de procesamiento. Se dispone de una fuerza de trabajo de 17500 trabajadores.

Principales producciones: leche pasteurizada (131 millones de litros), helados (15 millones de galones), quesos (16000 t), mantequilla (500 t), leche en polvo re-ensada (30000 t), yogur natural (18000 t) y yogur de soya (160 millones de litros).

Estos niveles de producción son insuficientes para cubrir la demanda, por lo que es necesario importar grandes cantidades de productos lácteos.

- **Distribución:**

La venta de más del 80% del total de producción primaria de leche se encuentra regulada mediante contratos entre los productores y entidades estatales.

Los productos lácteos (incluyendo la leche fresca cruda) tienen 4 destinos principales para su comercialización, los que involucran dos tipos de monedas en circulación.

Se comercializan en moneda nacional (pesos cubanos), los que se expenden en bodegas, tiendas y mercados estatales para distribución normada (canasta básica) así como los enviados a hospitales, escuelas, círculos infantiles, comedores obreros (consumo social) y a la red de cafeterías, restaurantes y tiendas subordinados al Ministerio de Comercio Interior.

Se comercializan en divisas los enviados a cadenas de tiendas para recaudación de divisas y hoteles e instalaciones fundamentalmente subordinados al Ministerio del Turismo y otros.

La industria se encarga de la distribución de sus producciones (fundamentalmente leche pasteurizada en bolsas, yogurt natural o saborizado, quesos varios, helados y mantequilla) mediante su propio parque de transporte, hasta los 4 destinos principales.

Los acarreadores privados son los responsables de la entrega directa de leche fresca (cruda) para su comercialización en bodegas y tiendas de la canasta básica. La falta de condiciones adecuadas de los medios de transporte disponibles se traduce en roturas de los mismos durante la distribución de los productos terminados, y por tanto demoras en la distribución y/o afectaciones de calidad de los productos, con las consecuentes pérdidas económicas que ello conlleva.

- **Comercio interno**

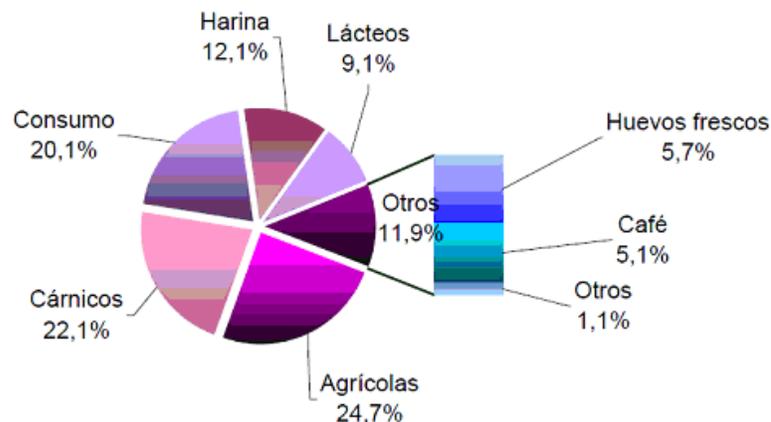


Gráfico 1.1 Productos lácteos en la estructura de circulación mercantil mayorista. Fuente: (Rivera Rojas & Rodríguez Mendoza, 2011)

La infraestructura comercial de la industria y del comercio (mercados, cafeterías, restaurantes, etc.) no respalda los niveles de venta de los productos que demandan refrigeración y/o congelación, no asegurándose la conservación de la calidad durante el proceso distribución y comercialización hasta llegar al consumidor final.

- **Comercio externo:**

a) Exportaciones anuales de productos lácteos 400.000 Pesos.

b) Importaciones por más de 200 Millones de Pesos en el 2009.

Importación más importante: leche en polvo, (incremento anual en valores de un 14% como promedio), lo que ha estado influenciado por el aumento de costos de importación de ese producto, no así por los volúmenes importados (Rivera Rojas & Rodríguez Mendoza, 2011).

1.6.1 Capacidad de producción en Cadenas Lecheras

La literatura especializada consultada no abunda sobre la capacidad en las cadenas de suministro. No se encontró ninguna literatura específica sobre la capacidad de producción en las cadenas lecheras. No obstante algunos autores como (Gómez Acosta & Acevedo Suárez, 2000) hacen alusión a esta temática.

Para estos autores en el **flujo logístico** se distinguen dos variables esenciales en su funcionamiento: **rendimiento y ciclo**. Cada proceso tiene un rendimiento y se ejecuta en un ciclo dado. El rendimiento está asociado a la capacidad que posee el proceso, variable que no tiene un comportamiento estático, sino que está asociada a un conjunto de factores que sufren variaciones en el tiempo. El ciclo está asociado a la organización de la gestión y del flujo material del proceso en cuestión e igualmente tiene un comportamiento estocástico.

Por tal motivo, el balance de capacidad de la cadena logística busca garantizar las proporciones operativas desde el punto de vista del rendimiento y el balance del sistema de gestión se encarga de lograr la correspondencia de los ciclos de los procesos interrelacionados con el fin de garantizar un nivel competitivo de servicio al cliente.

En ocasiones en un sistema logístico se presentan conflictos y afectaciones del servicio al cliente no por desproporciones en las capacidades de los procesos, sino por incompatibilidades de los ciclos de los procesos resultantes de la organización de la gestión de los mismos. Se requiere de un balance en los dos aspectos para posibilitar un funcionamiento eficiente del sistema logístico.

Capítulo II. Procedimiento para el diseño del modelo dinámico de las capacidades productivas en el sector primario de la Cadena Lechera en Sancti Spíritus.

Para la construcción del modelo dinámico el autor selecciona el procedimiento propuesto por (Aracil, 1995).

El procedimiento se muestra en la siguiente figura:

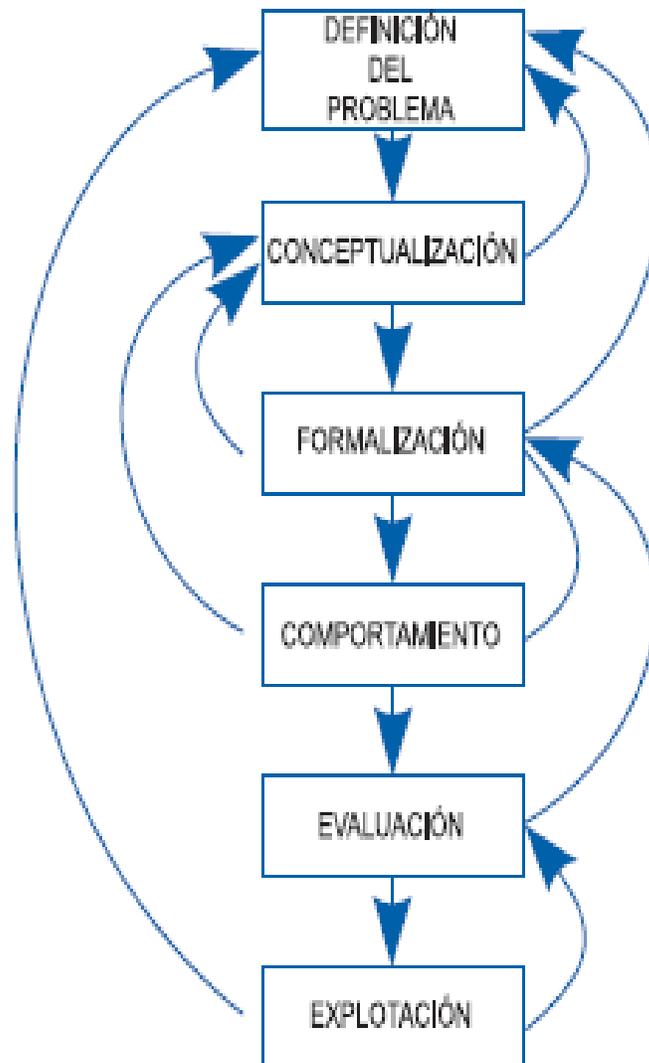


Figura 2.1 Procedimiento para la construcción de modelos dinámicos.
Fuente: (Aracil, 1995)

El procedimiento propuesto consta de seis etapas. A continuación se describe.

2.1 Definición del problema

En esta primera fase se trata de definir claramente el problema y de establecer si es adecuado para ser descrito con los útiles sistémicos que hemos desarrollado.

Para ello el problema debe ser susceptible de ser analizado en elementos componentes, los cuales llevan asociadas magnitudes cuya variación a lo largo del tiempo se desean estudiar. Entre estos elementos se producen relaciones de influencia.

Para la construcción de un modelo se parte de información de dos tipos fundamentalmente. Por una parte, se tienen registros numéricos de las trayectorias seguidas en el pasado por las magnitudes correspondientes.

Por otra, se dispone de una información, de naturaleza muy variada, con relación a cómo se producen las interacciones en el seno del sistema. Según la importancia relativa que se dé a estos dos tipos de información, se tienen diferentes métodos de modelado. En los métodos basados en la estadística, se considera que la única información relevante es la del primer tipo y, por tanto, en estos métodos de modelado se trata de realizar un ajuste numérico de los modelos a esos datos.

Por otra parte, en métodos como la dinámica de sistemas se asume que la información relevante es la del segundo tipo. Es decir, información con respecto a cómo se producen las interacciones en el seno del sistema, aunque sea en principio cualitativa. Esta información, mediante el proceso de conceptualización, conduce al diagrama de influencias. Este diagrama se reelabora para construir el de Forrester. Sólo entonces, de acuerdo con este método, empieza a tener interés la consideración de la información numérica.

Cada modelo es una construcción humana en la que aparecen solamente algunos aspectos del mundo (los que son relevantes). No todas las cosas que podrían ser descritas (y modeladas) son relevantes. Por ejemplo:

- Un modelo de un avión para evaluar sus características de aerodinámica, no requiere una representación de los elementos interiores del avión

- Un modelo de la inflación en un país no requiere la representación de cada actor económico
- Un modelo de gestión de bodega de una librería no requiere representación de cada texto individual.

Lo que define este ámbito es el propósito del modelo: comprender la aerodinámica del avión, explicar la inflación de un país, optimizar una bodega de libros.

Si un modelo debe permitir elaborar respuestas, entonces el primer paso imprescindible es definir muy claramente cuál es la pregunta.

¿Cuál es el problema que resolver? ¿Cuál es la pregunta a responder?(Schaffernicht, 2009)

Propósito, conveniencia y frontera

- ¿Cuál es el propósito del modelo?
- ¿Cuál es la frontera? ¿Están los ítems importantes siendo tratados de manera endógena? ¿Qué variable importante ha sido asumida como exógena o excluida? ¿Se ha excluido a variables por falta de datos “duros”?
- ¿Cuál es el horizonte de tiempo relevante? ¿El modelo contiene las entidades que pueden cambiar de manera significativa en este periodo?
- ¿Es el nivel de agregación coherente con el propósito?(Schaffernicht, 2009)

2.2 Conceptualización del sistema

Una vez asumida, en la fase anterior, la adecuación del lenguaje sistémico elemental para estudiar el problema, en esta segunda fase se trata de acometer dicho estudio, se definen los distintos elementos que integran la descripción, así como las influencias que se producen entre ellos. El resultado de esta fase es básicamente el establecimiento del diagrama de influencias del sistema.

Una vez que el propósito del modelo queda definido y el comportamiento de referencia con él, se trata de proponer una primera aproximación a la estructura detrás de estos comportamientos.

Se tienen que declarar variables y conexiones causales entre ellas, de manera de para poder dar cuenta de cómo se generan los comportamientos problemáticos. Para ello, se dispone de tres fuentes de información: la experiencia de las

personas involucradas (su base de información mental), fuentes escritas diversas y datos numéricos publicados (Schaffernicht, 2009)

Para (Aracil, 1995) los tres tipos de información que se pueden encontrar se muestran en la siguiente figura:

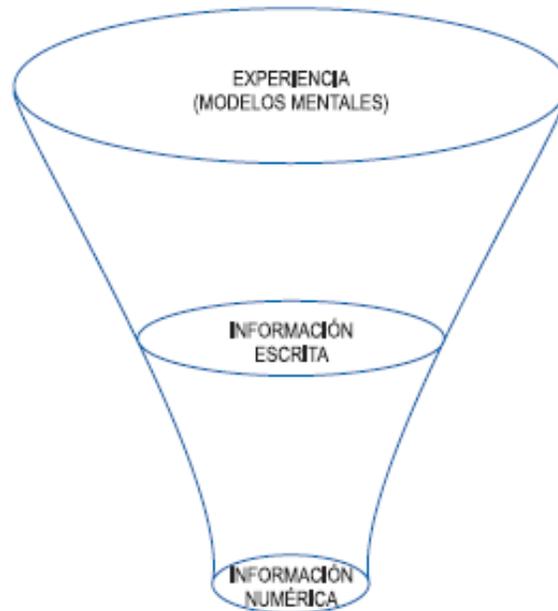


Figura 2.1 Fuentes de información para la construcción de un modelo dinámico. Fuente: (Aracil, 1995)

De los diferentes problemas que existen, la información más amplia de la que se suele disponer es la que suministran los modelos mentales de esas situaciones. Estos modelos sintetizan, de forma más o menos intuitiva, la experiencia que se tiene con respecto a esas situaciones y se encuentran evaluados por los resultados que se han alcanzado previamente al emplearlos como base de las decisiones. Por otra parte, la información escrita de la que se suele disponer es considerablemente menor. Por último, la información cuantitativa es relativamente escasa. Sin embargo, se deben tomar decisiones, especialmente con relación a problemas complejos, se tienen en cuenta esos tres tipos de información. Por tanto, conviene integrarlas. Eso es lo que permite la dinámica de sistemas.

Es importante que los destinatarios del modelo (los clientes, los usuarios) tengan la oportunidad de intervenir en este proceso, propongan, revisen, critiquen: ellos

son parte de un sistema que genera su problema, ellos deben comprender el modelo, ellos deberán aceptar sus consecuencias.

(Godoy & Bartó, 2002) plantean que los enfoques de adquisición del conocimiento más habituales son:

- Entrevistas: se consideran separadas las funciones del experto y la del desarrollador quien es el encargado de realizar las entrevistas con el fin de traducir los conocimientos a la representación elegida. Se usa un proceso de prototipado, en el que se expone al experto al funcionamiento del sistema y éste se modifica a medida que se explora la estructura del conocimiento.
- Aprendizaje por interacción: el experto interactúa directamente con un sistema de adquisición asistida que lo guía en la construcción del sistema. En particular la generación del código de implementación evita la generación de errores de sintaxis y los aspectos estructurales pueden deducirse en un proceso de consulta guiada.
- Aprendizaje por inducción: el conocimiento se extrae de bases de datos de ejemplos tomados de casos reales por medio de mecanismos de inducción. Tanto la participación del experto como del desarrollador pueden reducirse según que se empleen técnicas supervisadas o no supervisadas, como las redes neuronales o la inducción lógica. Este tipo de sistemas ha cobrado gran difusión en el desarrollo de estrategias en las organizaciones a partir de los datos de su propia operación, al punto de hablarse de gestión del conocimiento.

La primera aproximación puede tomar la forma de un “diagrama de bucle causal” o de un “diagrama de flujos y acumuladores”. El trabajo con diagramas causales requiere menos conocimientos técnicos, pero ha sido criticado por ser menos riguroso. La diferencia es que los diagramas causales como articulación de las creencias que se tienen, pueden usarse de modo “*top down*”, lo que fácilmente conduce a la incorporación de suposiciones (o “pre-juicios”) que no han sido cuestionados. Ello es problemático, ya que la dinámica de sistemas postula un

pensamiento operacional, que parte desde la detección de los elementos hacia las estructuras menos directas, de modo “*bottom-up*”.

Un buen compromiso parece ser el uso de los llamados “diagramas de influencia” que son básicamente diagramas de bucle causal donde para cada variable, se indica si es de tipo flujo o acumulador.

Se recomienda:

- **Identificar todos los factores que se creen importantes (técnicos, legales, económicos, psicológicos y otros).** El modelo sólo podrá generar descubrimientos con el material que se pone en él. Un factor que no se coloca corta todos los bucles de retroalimentación que pasan por él e influye, por lo tanto, en las posibilidades de comportamiento. Es preferible una estimación aproximada a la decisión de excluir algo importante (el análisis de sensibilidad ayudará a absorber la inseguridad resultante).
- **Preservar la estructura circular de las retroalimentaciones.** El modelo se comportará como el sistema modelado, a condición que estos bucles sean parte de él. No siempre habrá evidencia empírica a priori de su existencia; hay que basarse en la convicción de quienes conocen bien el sistema.

Aunque algunos autores que trabajan en la metodología de Dinámica de sistemas coinciden en dar indicaciones muy generales para la caracterización inicial de un problema y abordar la selección de variables y la construcción del diagrama causal: discusiones con personas del entorno del sistema, complementado por información histórica, recopilación de datos, entrevistas y observación directa o la participación.

En general los métodos empleados por los investigadores para el modelado de sistemas, son principalmente metodologías que involucran la participación de expertos y/o personas que están muy relacionadas con el problema particular analizado.

En algunos casos la participación de los expertos se articula mediante métodos de prospectiva, entre los más utilizados están el método Delphi y el método de análisis estructural.

El método Delphi consiste fundamentalmente en la realización de varias rondas de consulta a expertos para llegar a un consenso en los aspectos relevantes a incluir en el análisis o investigación, y se utiliza principalmente en la selección de las variables.

El método de análisis estructural parte de la reflexión colectiva de un grupo de expertos, quienes en primer lugar debaten para seleccionar y definir las variables que son parte del sistema, posteriormente evalúan la influencia directa que ejerce cada una de las variables sobre las demás y finalmente se procesa estas interrelaciones mediante algún *software* especializado que ayuda en la selección de las variables esenciales para la evolución del sistema (Quintero Posso & López Muriel, 2010)

2.3 Formalización

En esta fase se pretende convertir el diagrama de influencias, alcanzado en la anterior, en el de Forrester. A partir de este diagrama se pueden escribir las ecuaciones del modelo (algunos entornos informáticos permiten hacerlo directamente). Al final de la fase se dispone de un modelo del sistema programado en un computador.

Un diagrama de bucle causal es interesante y su análisis (cualitativo) muchas veces genera ideas y descubrimientos interesantes. Sin embargo, necesitamos la ayuda de herramientas para llegar a comprender estos modelos. En el caso de la dinámica de sistemas, esto significa la formulación de un modelo formal, con variables de flujo y de nivel, representadas internamente como ecuaciones diferenciales y simuladas por algoritmos de integración.

La cuantificación pasa por la elaboración de los flujos físicos y de las políticas en términos de estas variables, la estimación de las funciones que enlacen a las variables y la estimación de los valores de parámetros.

Se recomienda:

- **Representar la distorsión de la información.** Tenemos que imitar la situación real: si un gerente debe decidir en base de información con “ruido”, así tiene que hacerlo nuestro modelo. El peligro es de modelar algo que no es, y por lo tanto perder toda posibilidad de validar el modelo o de descubrir algo con relevancia práctica.
- **Representar los retardos (las demoras).** Si en el sistema real, un gerente se basa en un informe mensual de ventas, es importante incluir esto en el modelo (y no hacer depender la decisión del flujo de los datos de venta día por día, por ejemplo). El mismo peligro de modelar algo irreal existe también aquí.
- **Cada variable debe referirse a una entidad identificable en el mundo real.** Modelamos para intervenir en el sistema. Por lo tanto, se busca evaluar lo que pasará probablemente. Para esto, es importante no introducir componentes *ad-hoc* al modelo: si parece necesario introducir algo, es porque el modelo no se comporta como el sistema; pero si esto ocurre, significa que aún no se comprende suficientemente bien el sistema, y no se podrá, por lo tanto, averiguar sobre posibles futuros (ni logramos reproducir el pasado).
- **La unidad de medida de la variable deberá ser la de la entidad real.** En el mundo, las cosas son las cosas: si hay que usar minutos de emisión televisiva para influir en los consumidores, son “minutos de emisión”, no el valor de estos minutos en pesos u otras monedas.
- **Distinguir cantidades actuales de cantidades conocidas.** Muchos de los procesos en el mundo son secuencias fluidas de micro-eventos que ocurren constantemente. En general, nuestras decisiones no se basan en ellos, sino que en alguna transformación:
- **No suponer a priori que el sistema es estable o lineal.** En el ámbito de los sistemas sociales, hay buenas razones para asumir que existen muchos efectos no lineales y no todos los sistemas tienden a ser estables *per se*. Presuponer la linealidad y la tendencia hacia la estabilidad es entonces quitarse posibilidades a priori (Schaffernicht, 2009)

De forma general:

- ¿El modelo observa las leyes básicas de la física, como por ejemplo la conservación de la materia? ¿Las ecuaciones son consistentes en su dimensionalidad y sin artefactos arbitrarios de conversión?
- ¿La estructura de niveles y flujos es explícita y coherente con el propósito?
- ¿El modelo asume que el sistema esté en equilibrio todo el tiempo o permite dinámicas fuera del equilibrio?
- ¿Se han tomados en cuenta las demoras, restricciones y cuellos de botella?
- ¿Se supone que las personas sean “racionales” y optimicen su rendimiento? ¿Se toman en cuenta las limitaciones cognitivas, restricciones organizacionales, motivaciones no económicas y factores políticos?
- ¿Las decisiones tomadas en el modelo se basan en las mismas informaciones que tienen los tomadores de decisión reales? ¿Hay demoras, distorsión y ruido?

2.4 Comportamiento del modelo

Esta cuarta fase consiste en la simulación informática del modelo para determinar las trayectorias que genera.

2.5 Evaluación del modelo

En esta fase se somete el modelo a una serie de ensayos y análisis para evaluar su validez y calidad. Estos análisis son muy variados y comprenden desde la comprobación de la consistencia lógica de las hipótesis que incorpora hasta el estudio del ajuste entre las trayectorias generadas por el modelo y las registradas en la realidad. Así mismo, se incluyen análisis de sensibilidad que permiten determinar la sensibilidad del modelo, y por tanto, de las conclusiones que se extraigan de él, con relación a los valores numéricos de los parámetros que incorpora o las hipótesis estructurales.

¿Cómo llegamos a confiar en el modelo? La pregunta es delicada: nos proponemos intervenir en el sistema modelado, en base a recomendaciones que derivan del modelo. Si el modelo corresponde lo suficiente al sistema, entonces

las consecuencias de nuestra intervención en el modelo (probablemente) serán similares a las consecuencias en el sistema representado. Entonces, ¿cómo podemos saber que el modelo es confiable?

Hay una amplia gama de pruebas que en su conjunto ayudan a delimitar el ámbito de validez de un modelo.

Robustez y sensibilidad respecto de supuestos

- ¿El modelo es robusto respecto de variaciones extremas en los valores de “input” o en las políticas de decisión?
- ¿Las recomendaciones derivadas, son sensibles con respecto a variaciones plausibles en los supuestos, valores de parámetros, agregación y fronteras?

Pragmatismo y uso del modelo

- ¿Se documentó el modelo? ¿La documentación está públicamente disponible? ¿Se puede usar el modelo en su computador?
- ¿Qué tipos de datos se usaron para desarrollar y probar el modelo?
- ¿Cómo se ha descrito el proceso de modelar usado para desarrollar y probar el modelo, y cómo establecieron su confianza en él? ¿Terceros independientes y críticos han revisado el modelo?
- ¿Los resultados son reproducibles? ¿Los modeladores han usado algún artefacto (no documentado) para obtener sus resultados?
- ¿Cuánto cuesta ejecutar el modelo? ¿El presupuesto permite un análisis de sensibilidad serio?
- ¿Cuánto tiempo se requiere para revisar y actualizar el modelo?
- ¿El modelo es usado por sus modeladores o por terceros?
- ¿Cuáles son los sesgos, ideologías y agendas políticas de los modeladores y de los usuarios? ¿Cómo podrían éstos influir – intencionalmente o no – los resultados?

(Godoy & Bartó, 2002) plantean que la construcción de modelos de simulación computacional se presenta como una actividad cognitiva en sí misma, ya que permite conocer los sistemas del mundo real, así como entender su comportamiento en una manera en la que un enfoque analítico puro (en sentido

matemático) no podría. Pero esta particular visión enfrenta al modelista con el problema epistemológico y computacional de validar sus resultados siendo que, en la mayoría de los sistemas que se abordan para simularlos, se carece de teorías científicas que los sustenten.

En los modelos de la Dinámica de Sistemas se pasa de una visión de las relaciones estructurales entre los componentes, mediatizada por conceptos como realimentación positiva o negativa y otras construcciones más complejas, a sistemas dinámicos caracterizados por sistemas de ecuaciones diferenciales cuya solución, analítica o numérica, proporciona el comportamiento deseado en forma de respuesta del sistema.

Criterios informales de validación

En general, los criterios informales recurren a la opinión de expertos como forma de evaluar la calidad del modelo. Hay varias maneras de emplearlos:

- Entrevistas: es un proceso superficial y cualitativo que puede consistir de entrevistas entre los desarrolladores y los expertos en el dominio de conocimientos para discutir la validez de cada conclusión alcanzada por el sistema.
- Panel de expertos: para tratar de eliminar las opiniones diferentes se pueden presentar los resultados ante un equipo de validación en conjunto y buscar el acuerdo entre los expertos. Los expertos logran ponerse de acuerdo con bastante facilidad. De cualquier manera se pueden presentar sesgos positivos y negativos de los expertos respecto de los sistemas de simulación. Para evitarlo se pueden incorporar otros expertos o usuarios que no hayan participado del desarrollo y puedan tener una actitud menos comprometida. Esta metodología de casos de prueba puede fracasar en el momento de acordar criterios de validez entre diferentes expertos y para el caso de sistemas muy complejos el producto cartesiano de todas las alternativas del modelo puede hacerlo intratable en forma completa.
- Test de Turing. Una tercera técnica, que es característica de la Inteligencia Artificial, es la aplicación del Test de Turing, que consiste en enfrentar a los

usuarios a ciegas con el sistema o con los expertos, sin que puedan distinguirlos, y que den su opinión respecto de la validez.

Criterios objetivos de validación

Como en otros modelos de simulación, los criterios objetivos de validación consideran los resultados intermedios, los resultados finales y algunas combinaciones de ambos.

Los investigadores que trabajan en el campo de la Dinámica de Sistemas han reflexionado acerca de su propia práctica, especialmente sobre la validez de los modelos.

- **Criterio de correspondencia entre estructuras.** Como la Dinámica de Sistemas parte del concepto que el comportamiento de un sistema está determinado por su estructura, entonces un indicador lícito es asociar la validez con la correspondencia entre estructuras: la estructura que se ha dado al modelo comparado con la estructura del sistema que está siendo modelado. Cada elemento del modelo debe tener su contraparte en el mundo real, y cada factor importante en el sistema real debe estar reflejado en el modelo.
- **Criterio de correspondencia entre comportamientos.** En casos en los que hay evidencia empírica sobre la evolución del sistema real en el tiempo es posible establecer indicadores sobre la relación con el comportamiento que el modelo predice. Si las condiciones iniciales del modelo se ajustan al estado del sistema que se modela en algún tiempo del pasado, entonces el comportamiento del modelo debería replicar los datos históricos entre ese tiempo y el presente, se incluyen los lapsos de tiempo de las áreas de comportamiento que resultan de interés. Además, los datos históricos a veces no son perfectos ni mucho menos. Si los datos son pobres, se tendrá que ser razonables en nuestro juicio y el investigador deberá decidir cuan cercano debe estar el comportamiento del modelo al del sistema real.
- **Criterio de correspondencia entre fenómenos.** ¿El modelo puede representar el tipo de fenómeno que se observa en forma permanente o excepcional en el mundo real? Por ejemplo, fenómenos como

enclavamiento del mercado deben ser reproducidos por un modelo que intente representar mercados con esas características (Godoy & Bartó, 2002).

En la práctica rara vez se trabaja en las correspondencias mencionadas. Los datos empíricos se emplean para ajustar el modelo, no para validarlo. Deberían por ello seleccionarse casos para ajuste y casos para validación (similar a lo que se hace para el entrenamiento de una red neuronal). Si se pretende aumentar la confianza en el modelo, la mayor parte de los casos disponibles deberían usarse como validación, no como ajuste. Como caso particular puede ser de interés someter el modelo a condiciones que se denominan extremas: si el modelo se desarrolla con la pretensión de trabajar en cierto rango de variables, de qué forma responde cuando se sitúa en los extremos del intervalo, o cuando las variables adoptan valores asociados a máximos, mínimos, etc.

Abandono de criterios objetivos de validación

Muchos autores abandonan la idea de verdad en la Dinámica de Sistemas. No hay modelos que sean completamente válidos ya que los modelos son algo menos que el sistema que está siendo modelado. Los autores que abandonan el concepto de verdad y generalmente lo sustituyen por el concepto de progreso en una disciplina, o por el concepto de novedad.

- **Criterio de utilidad.** Dado que se reconoce el carácter no objetivo de los modelos, surge la cuestión práctica de utilidad como un sustituto de la verdad. Pero la utilidad depende en gran medida del propósito con el cual se desarrolló el modelo, de la elección acerca del nivel de detalle al cual se va a enfocar el modelo, de los límites que se han establecido para llevar a cabo el estudio. Si el modelo fue desarrollado para crear escenarios alternativos y tomar decisiones, entonces la utilidad depende de si el modelo logra construir el escenario adecuado, si puede establecerse que el escenario es realista (como opuesto a fantasioso) y si permite tomar decisiones informadas. El segundo aspecto (escenario realista) es difícil de evaluar, dado que se ha abandonado la idea de representación de la realidad, y por lo tanto debe encontrarse un sustituto.

- **Criterio de confianza.** Si se adoptan decisiones en base a escenarios contruidos, el comportamiento del sistema modificado en base a decisiones ¿producirá una respuesta semejante a la que produciría el sistema real? Pero este es el motivo por el cual se produce un modelo, de modo que rara vez se puede realizar esta confrontación directa con el mundo real. Pero si se supone que se dispone de nueva información del sistema real en el nuevo escenario, y el comportamiento es similar al del modelo. ¿En qué medida esa nueva respuesta se produjo asociada a la estructura interna del modelo que refleja la realidad, y no a otros factores no incluidos en el modelo y que resultaron ser fundamentales? Los usuarios y destinatarios del modelo pueden desarrollar confianza o desconfianza en un modelo por una variedad de razones. La confianza en el modelo puede estar por eso basada en la ignorancia o en el conocimiento generado por el modelo. Nuevamente, la confianza no parece ser el resultado objetivo de la validación del modelo sino que es una apreciación no objetiva.
- **Criterio relativista epistemológico.** Una epistemología relativista puede dar un marco adecuado para la justificación de los modelos, en los cuales la justificación es contextual y relativa a los intereses y propósitos de los participantes en el proceso de construcción del modelo.

El realismo interno

La relación entre el modelo y su comportamiento, aunque esté sustentado empíricamente, no resulta condición suficiente para aceptar al modelo como una representación de la realidad. Este problema ha sido abordado por varios autores que utilizan la perspectiva del realismo interno. Esta perspectiva permite considerar como aceptables a los modelos mentales contruidos a partir de la intuición de los expertos y permite dar sentido a algunas clases de realismo. La explicación y la comprensión son posibles aun cuando no hay un único modelo o conjunto de modelos privilegiado, que sea capaz de capturar cada aspecto particular de un sistema real y aunque no haya restricciones formales (lógicas o matemáticas) que permitan seleccionar y justificar la peculiar estructura de ciertos

modelos en vez de la de otros que son capaces de generar el mismo comportamiento.

Este realismo podría caracterizarse por las siguientes tesis:

- La realidad objetiva existe independientemente de que la conozcamos o no.
- La realidad objetiva independiente tiene en sí misma algún grado de organización o estructura.
- El conocimiento humano, y en especial el conocimiento científico, pretende conseguir una representación adecuada de la realidad objetiva.
- Es posible alcanzar, a través de la investigación científica, representaciones adecuadas, aunque parciales e incompletas, de la realidad objetiva.

Esta versión del realismo no incorpora la teoría ingenua de la verdad como correspondencia (criterios objetivos), o mejor aún, como propia o reflejo de la verdad.

Se acepta como legítima la pretensión que el conocimiento científico pueda ser una representación adecuada, aunque parcial e incompleta del mundo real. El realismo interno no es incompatible con la relatividad conceptual, pero sí con el relativismo epistemológico o cultural que proponen otros filósofos, porque afirma que no se trata de una convención (Godoy & Bartó, 2002).

2.6 Explotación del modelo

En esta última fase el modelo se emplea para analizar políticas alternativas que pueden aplicarse al sistema que se estudia. Estas políticas alternativas se definen normalmente mediante escenarios que representan las situaciones a las que debe enfrentarse el usuario del modelo.

(Schaffernicht, 2009) plantea que se necesita un modelo explicativo, con el propósito de hacer experimentos de cambio. Se dice de la simulación que compacta el tiempo y el espacio: podemos simular en segundos y en una pequeña pantalla lo que en el mundo físico toma años y pasa a miles de kilómetros de distancia.

Una vez que se tenga confianza en el modelo, se elaborarán diferentes escenarios de cambio, y se someterán a series de simulación para averiguar su sensibilidad.

Así se podrá establecer lo que muy probablemente pasará cuando se implemente cada una de las diferentes alternativas, y se pueda derivar una recomendación: ¿cuál es el cambio que probablemente más conviene para superar el problema inicial?

(Aracil, 1995) plantea que todo modelo se construye con el fin de ayudar a resolver un problema concreto. En consecuencia, la explotación del modelo consistirá precisamente en valerse de él para resolver ese problema. Sin embargo, esa explotación puede tomar formas variadas. En algunos casos, el modelo permite hacer predicciones. Es decir, alcanza un nivel de precisión tan elevado que permite emplearlo para predecir con exactitud qué valores tomarán algunas magnitudes en un instante de tiempo determinado del futuro. Estos modelos predictivos presuponen que el modelo tenga una gran precisión, tanto por lo que respecta a los valores de los parámetros, como a las relaciones funcionales que incluye. Este grado de precisión se alcanza normalmente en las ciencias físicas, por lo que es en este ámbito donde se dan con mayor frecuencia este tipo de modelos. Ello no excluye que en determinados problemas de las ciencias sociales puedan hacerse también predicciones, pero estas no suelen tener el grado de aceptación de las que se logran en las ciencias físicas.

Otra de las posibles utilizaciones de los modelos, especialmente cuando incorporan una cierta imprecisión, consiste en emplearlos no tanto para hacer predicciones concretas de valores numéricos precisos para determinadas magnitudes, sino para analizar las tendencias de evolución de esas magnitudes. Así, se trata de establecer si una magnitud tiende a crecer, a decrecer, a oscilar, o a permanecer invariable. Se tratan de predicciones más laxas. En realidad, en este caso se está más próximo a hacer previsiones que propiamente predicciones. Por último, el tercer uso posible de los modelos consiste en emplearlos como instrumentos para analizar los distintos modos de comportamiento que puede mostrar ese sistema. De acuerdo con este uso, los modelos no tratan de ayudar a anticipar el porvenir, sea en forma precisa o en forma más laxa, sino de suministrar elementos para una reflexión disciplinada sobre los posibles modos de desenvolverse el sistema que se estudia. Este uso se encuentra en la actualidad

muy generalizado y consiste en emplearlos como bancos de prueba para el aprendizaje.

Capítulo III. Diseño del modelo dinámico de las capacidades productivas en el sector primario de la Cadena Lechera en Sancti Spíritus.

3.1 Breve introducción

En el momento de finalización de la presente investigación, la etapa de implementación del proyecto AGROCADENAS al cual tributa este trabajo, aun no comenzaba (hasta el año 2016). Por esta razón, la aplicación en la práctica es imposible. Se desarrolla el procedimiento, se obtiene el modelo dinámico y luego se valida la estructura y funcionamiento del mismo a través de la simulación.

3.2 Definición del problema.

El enfoque lineal y determinístico para la planeación de la producción lechera ha traído consecuencias negativas particularmente en el cumplimiento de los planes de entrega o acopio. El carácter dinámico y cíclico de los procesos naturales donde se desarrolla la producción de leche cruda, no se encuentra alineado con la perspectiva de planeación que se asume en la actualidad en el país, y en particular, en la provincia de Sancti Spíritus.

Un análisis de los planes de entrega y el real entregado de leche fluida cruda a la industria en los últimos años, demostró que existen grandes diferencias entre los mismos, tanto en la época de seca como en la época de lluvia o primavera. Esto se muestra a continuación:

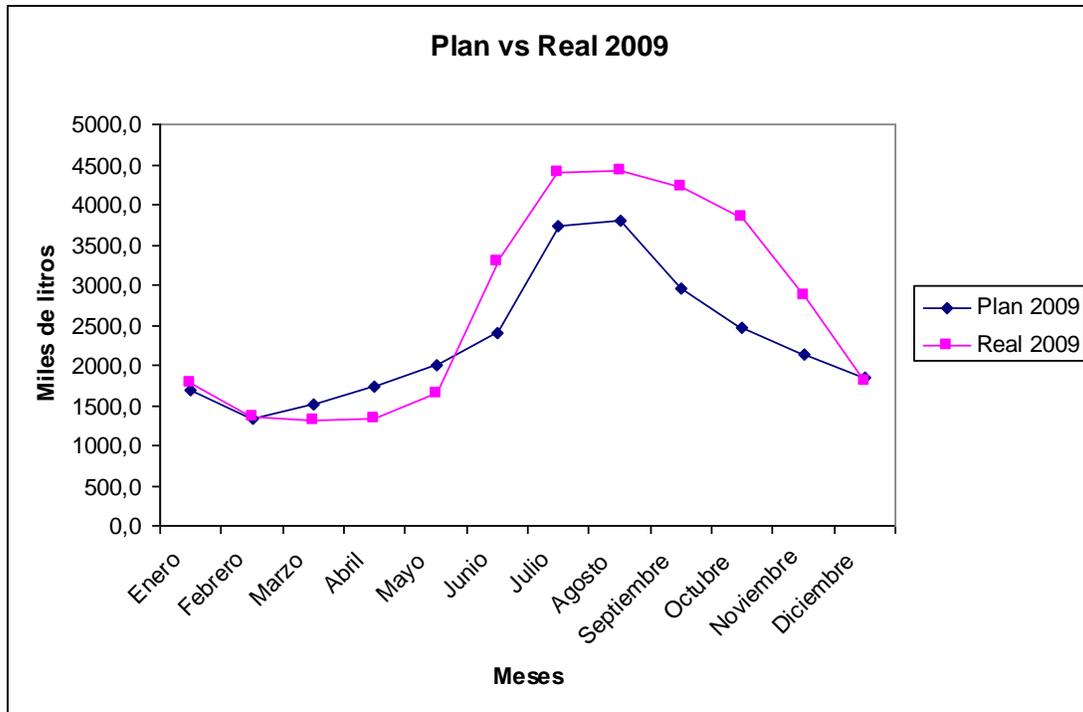


Figura 3.1. Comportamiento por meses del plan de entrega y el real entregado de leche fluida cruda en el año 2009.

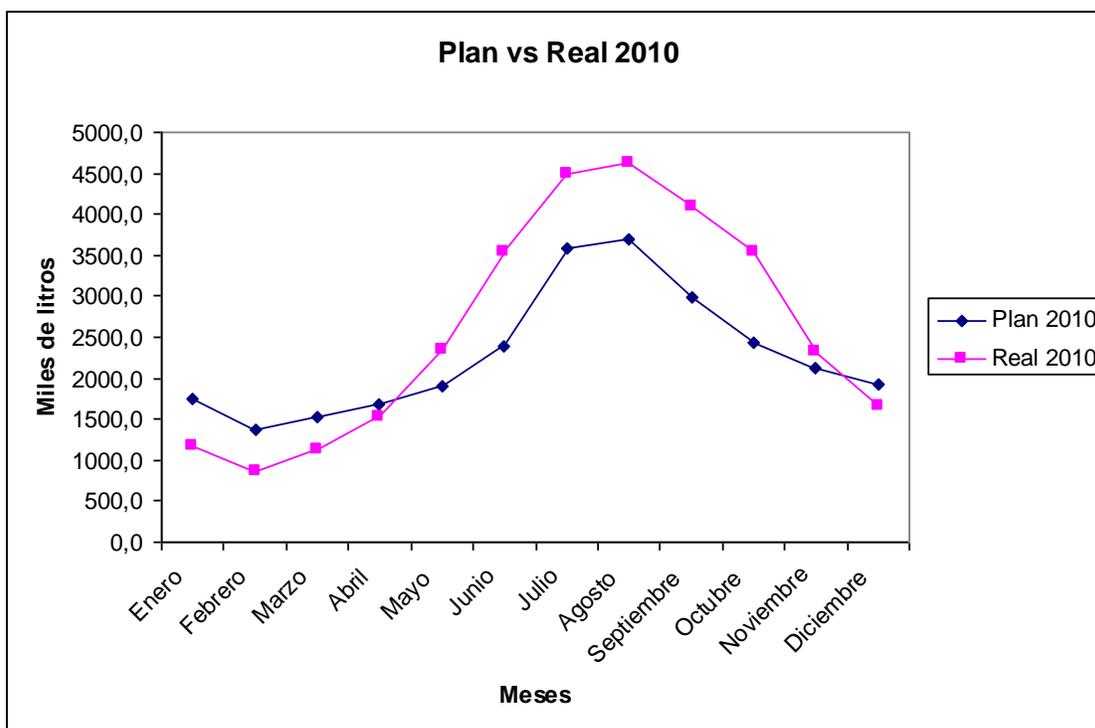


Figura 3.2. Comportamiento por meses del plan de entrega y el real entregado de leche fluida cruda en el año 2010.

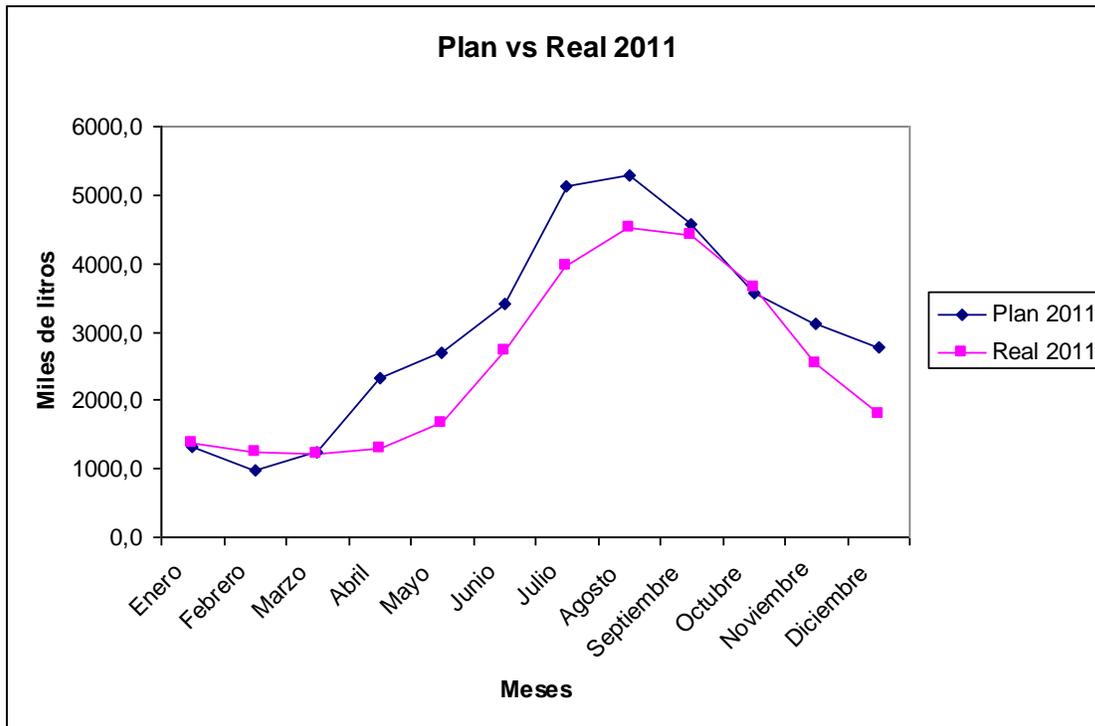


Figura 3.3. Comportamiento por meses del plan de entrega y el real entregado de leche fluida cruda en el año 2011.

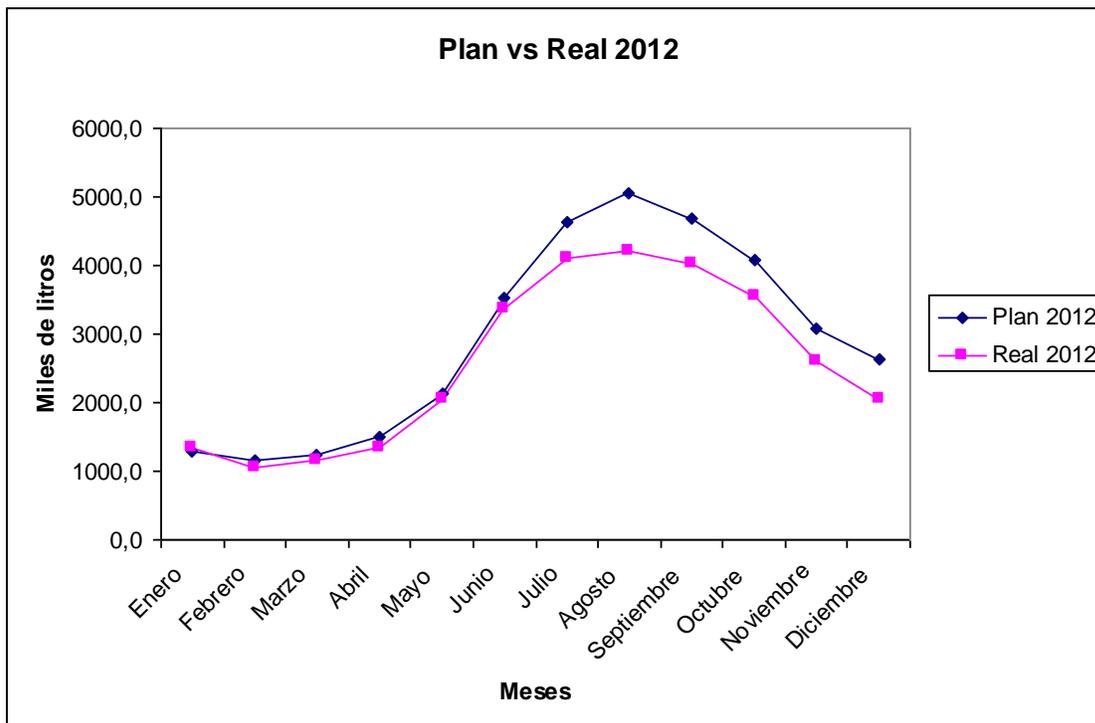


Figura 3.4. Comportamiento por meses del plan de entrega y el real entregado de leche fluida cruda en el año 2012.

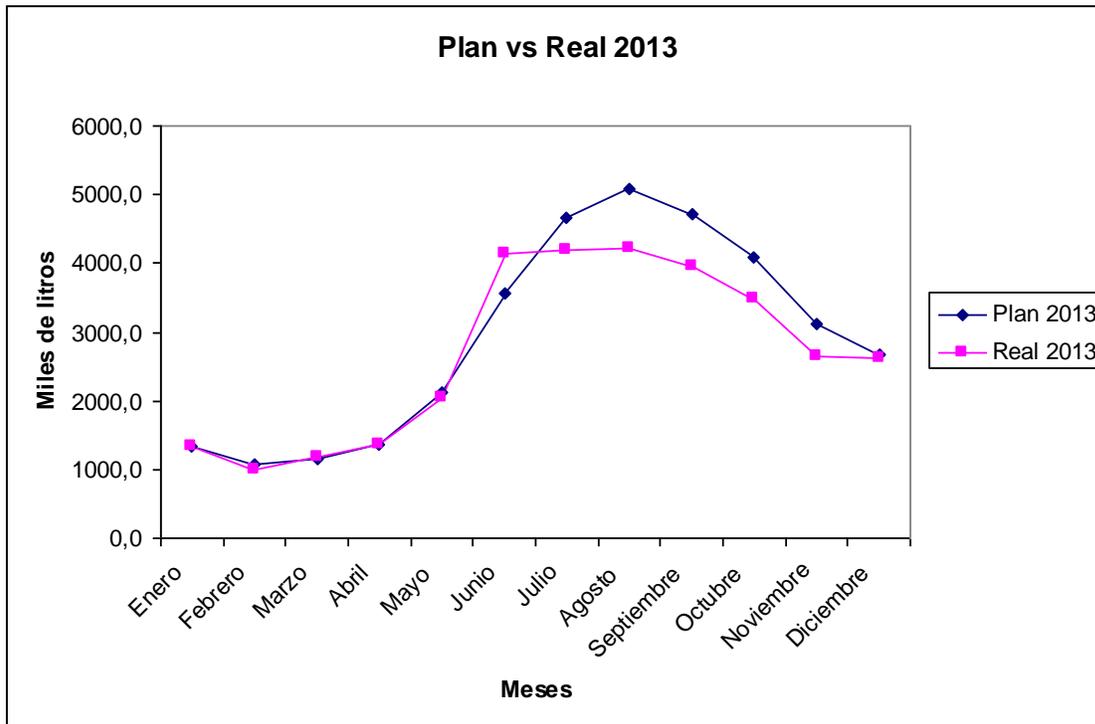


Figura 3.5. Comportamiento por meses del plan de entrega y el real entregado de leche fluida cruda en el año 2013.

Como se puede observar, la diferencia entre plan y real en unos años es más acentuada que en otros, pero en todos existe diferencia. De forma general, en los meses de sequía, la entrega es inferior a lo planificado, lo que implica importación de Leche Entera en Polvo (LEP) para suplir las necesidades y demandas, mientras que en los meses de lluvia generalmente se entregan volúmenes superiores a los planificados, para los cuales la industria no se encuentra preparada (no se planificó para ello) y como resultado se trasladan grandes volúmenes de leche a otros territorios del país para ser procesada. Esto implica elevados costes por transportación y pérdidas por concepto de calidad.

3.3 Conceptualización del sistema

La conceptualización del sistema se realiza a través del establecimiento y clasificación de las variables que debe incluir el modelo dinámico. Para ello se consultó la literatura especializada y se seleccionaron las diferentes variables a

partir de los criterios que los autores ofrecen. Se conformó un equipo de expertos en ganadería lechera para verificar la aplicación de las variables presentes en la literatura en el contexto cubano. Para la selección de los expertos se utilizó la metodología trabajada en su tesis doctoral por (Carbonell Duménigo, 2009) que se muestra en el Anexo 1. Las variables seleccionadas que influyen sobre la producción lechera son:

Tabla 3.1. Variables de productividad para el modelo dinámico

No.	VARIABLES DE PRODUCTIVIDAD
1	Fondo de tiempo
2	Productividad
3	Vacas disponibles
4	Vacas gestando
5	Vacas lactando
6	Fallo en la gestación
7	Sacrificio
8	Reemplazo

Para el agrupamiento de las variables se utilizó el procedimiento elaborado a partir de (Vilà-Baños, Rubio-Hurtado, Verlanga-Silvente, & Torrado-Fonseca, 2014) que se muestra en el Anexo 2. Los factores para la clasificación son:

- Variables auxiliares
- Variables de flujo
- Variables de nivel

Para conformar los conglomerados a partir del nivel de pertenencia de las variables a los diferentes factores se utiliza una escala de evaluación binaria (0,1). Se asigna 1 si la variable que se evalúa pertenece al factor en cuestión. Se asigna cero en caso contrario. Esto constituye una variable dicotómica, por lo que se decide utilizar la medida de distancia Rogers y Tanimoto una medida muy utilizada en estos casos. No obstante, para la validación de los resultados se utilizaron otras medidas. El criterio para agrupar es el vecino más próximo. Los resultados se muestran en un dendograma en la figura 3.6

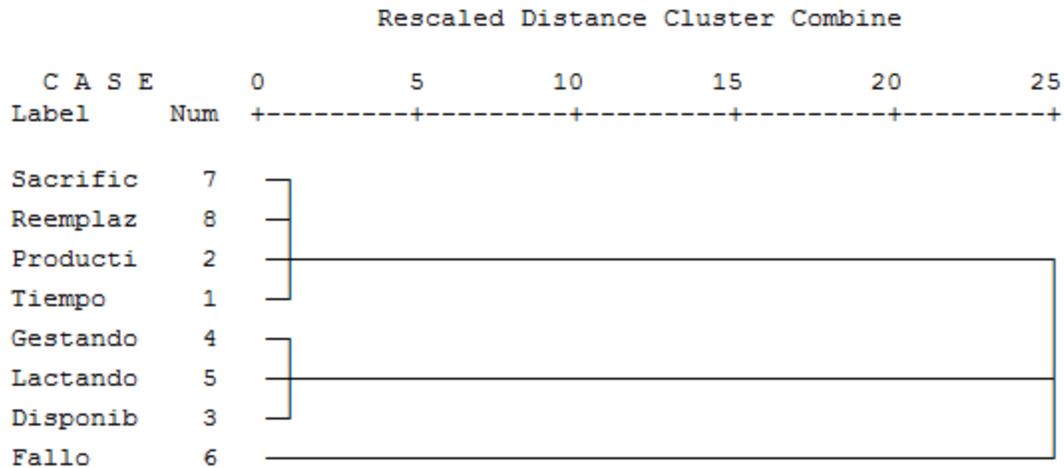


Figura 3.6. Dendograma para el agrupamiento de variables según grado de pertenencia a los factores. Salida del SPSS 15.0

Se determinó que existía concordancia entre los expertos y se procedió a tabular los grupos de variables por factores como se muestra a continuación:

Tabla 3.2. Variables de productividad para el modelo dinámico agrupadas por factores.

FACTORES	VARIABLES
Auxiliares	Fondo de tiempo
	Productividad
	Sacrificio
	Reemplazo
Flujo	Fallo
Nivel	Disponibles
	Gestando
	Lactando

A partir de la información y el criterio de los expertos se construye el diagrama causal que se presenta a continuación:

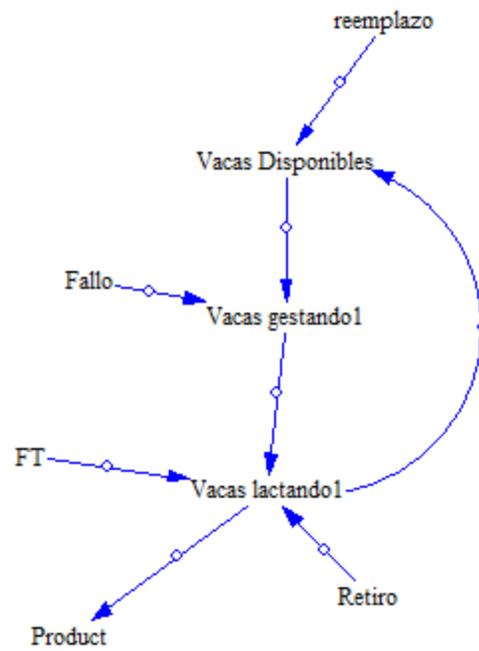


Figura 3.7. Diagrama causal para el modelo dinámico. Salida del Vensim PLE 5.0

3.4 Formalización del modelo

A partir del diagrama causal se establece el diagrama de Forrester. Esto se realiza en el *software* especializado Vensim PLE 5.0, como se muestra a continuación:

- The final time for the simulation
- (06) Fondo de Tiempo=30
Units: días/month
- (07) frecuencia=100
Units: month [6,64,1]
- (08) Frecuencia r=24
Units: month
- (09) Ingresan=DELAY FIXED(Se crean, 9 , 0)
Units: vacas por mes
- (10) INITIAL TIME = 0
Units: month
The initial time for the simulation.
- (11) Maduran= DELAY FIXED(Ingresan, 9, 0)
Units: vacas/month
- (12) Producción Plan=RANDOM UNIFORM(1.063e+006, 5.076e+006 , 1)
Units: litros/month
- (13) Productividad=Tasa de Producción*Vacas lactando
Units: litros/día
- (14) SAVEPER = TIME STEP
Units: month [0,?]
The frequency with which output is stored.
- (15) Se crean= Se retiran+tasa reemplazo
Units: vacas/month
- (16) Se retiran= MIN(Vacas lactando, tasaRetiro)
Units: vacas/month
- (17) Tasa de Producción= RANDOM NORMAL(1, 3 , 2, 0.5 , 1)
Units: litros/día
Productividad de un trabajador experimentado
- (18) tasa reemplazo= PULSE TRAIN(12, 12 , Frecuencia r , 100)
Units: vacas/month
- (19) tasaRetiro= PULSE TRAIN(10, 1 , frecuencia , 12)

Units: vacas/month

(20) TIME STEP = 1

Units: month [0,?]

The time step for the simulation.

(21) Vacas gestando= INTEG (Ingresan-Maduran-Fallan,2)

Units: vacas

(22) Vacas lactando= INTEG (Maduran-Se retiran,100)

Units: vacas

3.5 Análisis y validación de comportamiento del modelo

El modelo se simula para un horizonte de un año, ya que es el horizonte de planeación en Cuba. Los resultados se muestran a continuación:

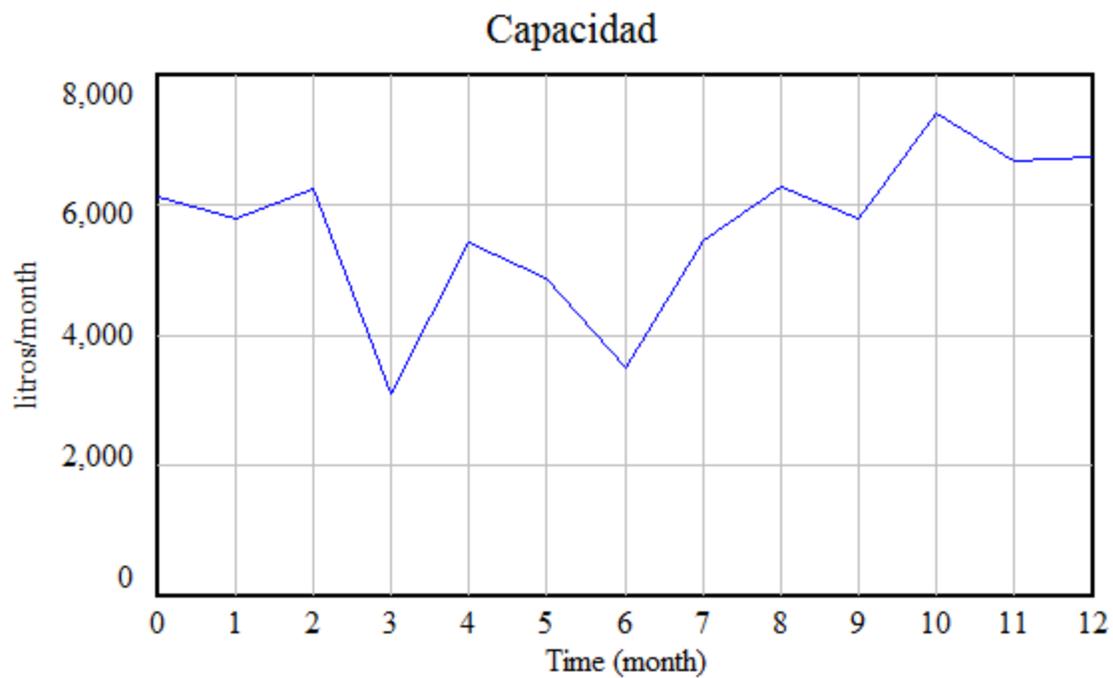


Figura 3.9. Comportamiento de la capacidad productiva según modelo dinámico.

Salida del Vensim PLE 5.0

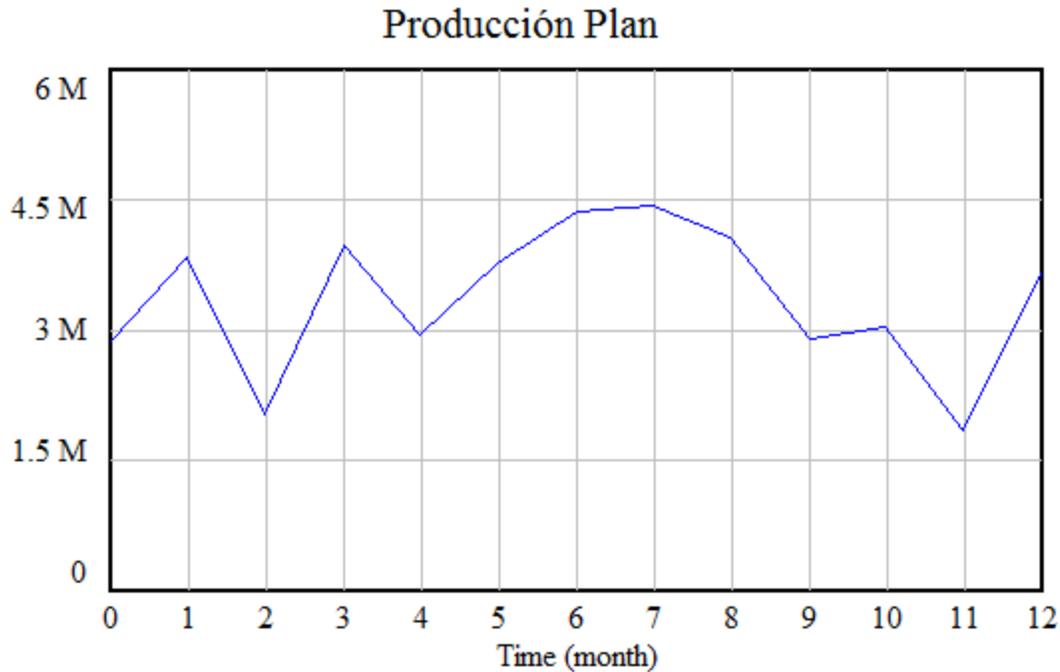


Figura 3.10. Comportamiento de la producción planificada según modelo dinámico.

Salida del Vensim PLE 5.0

La evaluación del modelo se realiza a la estructura y al comportamiento. La estructura se asume adecuada para la representación del sistema a partir de los criterios de los expertos. En cuanto al comportamiento se hace uso de las series de tiempo del comportamiento del sistema real, para comparar los resultados de este último y los del modelo.

Como se puede observar, el comportamiento de las variables analizadas en el modelo es similar al comportamiento del sistema real que se muestran en el epígrafe 3.2. En ambos casos, no existe coincidencia entre real y plan.

3.6 Explotación del modelo

El desarrollo del modelo tendrá lugar en la etapa de implementación del proyecto AGROCADENAS.

Conclusiones

1. El estudio bibliográfico demostró la existencia de una amplia base conceptual sobre la capacidad de producción y la dinámica de sistemas; como resultado no se encontraron modelos dinámicos de capacidades para la producción de leche.
2. El procedimiento propuesto por (Aracil, 1995) ofrece las herramientas necesarias para el diseño de un modelo dinámico de capacidades para las producciones lecheras del sector primario en la cadena lechera de Sancti Spíritus.
3. Se diseñó un modelo dinámico de capacidades para las producciones lecheras del sector primario en la cadena lechera de Sancti Spíritus.

Recomendaciones

1. Implementar el modelo dinámico de capacidades para las producciones lecheras del sector primario en la cadena lechera de Sancti Spíritus.
2. Extender la aplicación del modelo dinámico al resto de las provincias implicadas en el proyecto AGROCADENAS.

Referencias Bibliográficas

- Aracil, J. (1995). *Dinámica de Sistemas* (1ra ed.). Madrid, España: Isdefe.
- Aracil, J., & Gordillo, F. (1997). *Dinámica de sistemas*: Alianza Editorial.
- Barceló, J. (1996). *Simulación de Sistemas Discretos*. Madrid, España: Isdefe.
- Beltrán Sánchez, G. A. (2004). *ESTUDIO DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO DEL SECTOR AGROINDUSTRIAL LECHERO*. Tesis de grado, Universidad de la Sabana, Chía. Retrieved from <http://intellectum.unisabana.edu.co:8080/jspui/bitstream/10818/4662/1/130776.pdf>
- Bravo Carrasco, J. (1998). *Análisis de sistemas*. Santiago de Chile: Evolución S.A.
- Carbonell Duménigo, A. (2009). *PROCEDIMIENTO PARA EVALUAR Y MEJORAR EL GRADO DE ORIENTACIÓN AL CLIENTE EN REDES EXTRAHOTELERAS*. Tesis Doctoral, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Villa Clara, Cuba.
- Consejo de Estado. (2011). Decreto Ley 281. Del sistema de información del gobierno. *Gaceta Oficial de la República, CIX(10)*, 29-33.
- Contraloría General de la República. (2011). Resolución 60. Normas del Control Interno. *Gaceta Oficial de la República, CIX(13)*, 39-50.
- Chapman, S. N. (2006). *Planificación y control de la producción* (1ra ed.). México: PEARSON Educación.
- Chiavenato, I. (2007). *Introducción a la teoría general de la administración* (7ma ed.). México DF: McGraw Hill/Interamericana.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2004). *Supply Chain Management. Strategy, Planning and Operations* (2da ed.): Editorial: Pearson / Prentice Hall.
- Domínguez Machuca, J. A., Álvarez Gil, M. J., García González, S., Domínguez Machuca, M. A., & Ruíz Jiménez, A. (1995). *Dirección de Operaciones. Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*. España: McGraw-Hill.
- Drew, D. R. (1995). *Dinámica de Sistemas Aplicada* (1ra ed.). Madrid, España: Isdefe.

- Gaither, N., & Frazier, G. (2000). *Administración de producción y operaciones* (8va ed.): International Thomson Editores.
- Godoy, L. A., & Bartó, C. A. (2002). Validación y valoración de modelos en la Dinámica de Sistemas. Retrieved from http://www.ing.unrc.edu.ar/raei/archivos/img/arc_2011-11-23_21_00_45-54.pdf
- Gómez Acosta, M. I., & Acevedo Suárez, J. A. (2000). Logística del Aprovechamiento
- Heizer, J., & Render, B. (2004). *Principios de Administración de Operaciones* (5ta ed.). México: PEARSON Educación.
- Kotler, P., & Casliones, J. A. (2010). Caótica. Administración y Marketing en tiempos de caos Retrieved from http://www.manuelugarte.org/modulos/teoria_sistemica/introduccion_a_la_teoría_general_de_sistemas_bertoglio.pdf
- Menguzzato, M., & Renau, J. J. (1991). *La Dirección Estratégica de la Empresa*. Barcelona: Editorail ARIEL.
- MINCEX. (2014). *Programa de apoyo al fortalecimiento de cadenas agroalimentarias a nivel local (AGROCADENAS)*.
- Morlán Santa Catalina, I. (2007). Modelo de Dinámica de Sistemas para la implantación de Tecnologías de la Información en la Gestión Estratégica Universitaria. Retrieved from <http://www.ehu.es/i.morlan/tesis/memoria/TesisIM02.pdf>
- Partido Comunista de Cuba. (2011). *Líneamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución*. La Habana: Editora Política.
- Quintero Posso, D. A., & López Muriel, S. M. (2010). Análisis estructural: un apoyo para el modelado con dinámica de sistemas. vol. 7,. Retrieved from www.redalyc.org/pdf/1331/133117498018.pdf
- Rivera Rojas, A., & Rodríguez Mendoza, J. L. (2011). Cadena de valor de la leche y derivados. Retrieved from http://www.unido.org/fileadmin/user_media/UNIDO_Worldwide/LAC_Programme/PPTs_participantes/Cuba%20cadena%20leche1.pdf

- Sarabia, Á. A. (1995). *La teoría general de sistemas* (1ra ed.). Madrid, España: Isdefe.
- Schaffernicht, M. (2009). Indagación de situaciones complejas mediante la dinámica de sistemas Retrieved from http://editorial.utalca.cl/docs/ebook/dinamica_sistemas.pdf
- Schroeder, R. G., Golstein, S. M., & Rungtusanatham, M. J. (2008). *Administración de Operaciones. Conceptos y casos contemporáneos*. (5ta ed.). México.
- Torrealdea, J. (2008). *Dinámica de sistemas. Elementos y estructura de un modelo*. Departamento de Ciencias de la Computación e I.A. Universidad de Granada. Granada. Retrieved from <http://www.bioygeo.info/pdf/Elementos%20y%20estructura%20de%20un%20modelo.pdf>
- Torres Gemeil, M., Daduna, J. R., & Mederos Cabrera, B. (2007). *Fundamentos Generales de la Logística* (1ra ed.). La Habana, Cuba: Editorial Universitaria Universidad de Pinar del Río “Hermanos Saíz Montes de Oca”.
- Vilà-Baños, R., Rubio-Hurtado, M. J., Verlanga-Silvente, V., & Torrado-Fonseca, M. (2014). Cómo aplicar un cluster jerárquico en SPSS. *REIRE*, Vol.7, No.1.

Anexos

Anexo # 1. Procedimiento para la creación de equipos de expertos

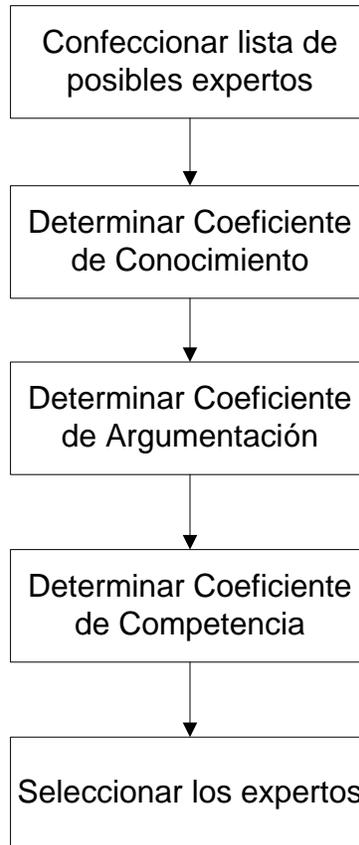


Figura 1. Procedimiento para la conformación del equipo de expertos. Elaborado a partir de (Carbonell Duménigo, 2009).

Confeccionar una lista inicial de personas posibles de cumplir los requisitos para ser expertos en la materia a trabajar

Se elabora un listado con las personas que tienen potencial para formar el equipo de expertos.

Determinar coeficiente de conocimiento

De esta forma se evalúan los niveles de conocimientos que poseen sobre la materia. Para ello se realiza una primera pregunta para una autoevaluación de los niveles de información y argumentación que tienen sobre el tema en cuestión.

En esta pregunta se les pide que marquen con una X, en una escala creciente del 1 al 10, el valor que se corresponde con el grado de conocimiento o información que tienen sobre el tema a estudiar.

Tabla 2.2 Determinación del Coeficiente de Conocimiento

Expertos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-										
2-										
3-										

Fuente: (Carbonell Duménigo, 2009)

A partir de aquí se calcula el **Coeficiente de Conocimiento o Información** (K_c), a través de $K_{cj} = n(0,1)$

donde: K_{cj} : Coeficiente de Conocimiento o Información del experto "j"

n: Rango seleccionado por el experto "j"

Determinar coeficiente de argumentación

Se realiza una segunda pregunta que permite valorar un grupo de aspectos que influyen sobre el nivel de argumentación o fundamentación del tema a estudiar (marcar con una X).

Tabla 2.3 Evaluación de fuentes de argumentación

Fuentes de argumentación o fundamentación	Alto	Medio	Bajo
Análisis teóricos realizados por usted			
Su experiencia obtenida			
Trabajos de autores nacionales			
Trabajos de autores extranjeros			
Su conocimiento del estado del problema en el extranjero			
Su intuición			

Fuente: (Carbonell Duménigo, 2009)

Se determinan los aspectos de mayor influencia. Las casillas marcadas por cada experto en la tabla se llevan a los valores de una tabla patrón:

Tabla 2.4 Patrones de fuentes de argumentación

Fuentes de argumentación o fundamentación	Alto	Medio	Bajo
Análisis teóricos realizados por usted	0.3	0.2	0.1
Su experiencia obtenida	0.5	0.4	0.2
Trabajos de autores nacionales	0.05	0.05	0.05
Trabajos de autores extranjeros	0.05	0.05	0.05
Su conocimiento del estado del problema en el extranjero	0.05	0.05	0.05
Su intuición	0.05	0.05	0.05

Fuente: (Carbonell Duménigo, 2009)

Los aspectos que influyen sobre el nivel de argumentación o fundamentación del tema a estudiar permiten calcular el **Coefficiente de Argumentación** (K_a) de cada experto.

$$K_a = \sum_{i=1}^6 n_i$$

donde: K_a : Coeficiente de Argumentación

n_i : Valor correspondiente a la fuente de argumentación "i" (1 hasta 6)

Determinar coeficiente de competencia

Una vez obtenidos los valores del **Coefficiente de Conocimiento** (K_c) y el **Coefficiente de Argumentación** (K_a) se procede a obtener el valor del **Coefficiente de Competencia** (K) que finalmente es el coeficiente que determina en realidad que experto se toma en consideración para trabajar en la investigación.

$$K = 0,5 (K_c + K_a)$$

donde: K : Coeficiente de Competencia

Seleccionar los expertos

Obtenidos los resultados, se valoran en la siguiente escala:

$0,8 < K < 1,0$ Coeficiente de Competencia Alto

$0,5 < K \leq 0,8$ Coeficiente de Competencia Medio

$K \leq 0,5$ Coeficiente de Competencia Bajo

El investigador debe utilizar, para su consulta, a expertos de competencia alta, nunca se utilizará expertos de competencia baja.

Anexo # 2. Procedimiento para la agrupación o *clustering*

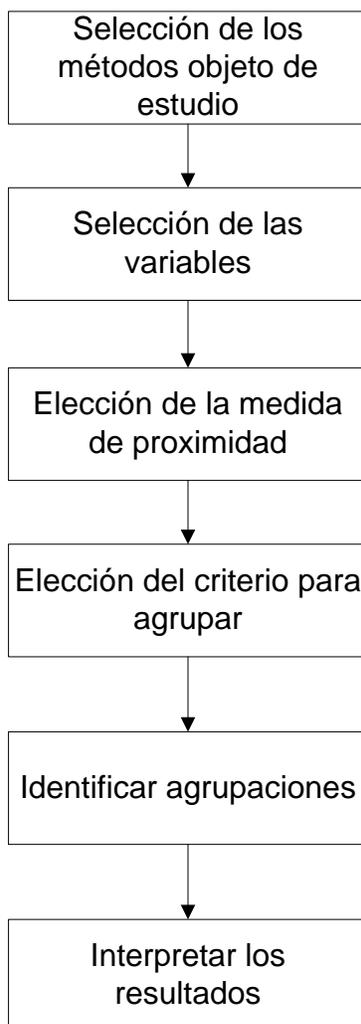


Figura 1. Procedimiento específico para el agrupamiento o *clustering*.

Elaborado a partir de (Vilà-Baños, Rubio-Hurtado, Verlanga-Silvente, & Torrado-Fonseca, 2014)

Selección de las variables objeto de estudio

La selección de los variables se realiza a partir de la información disponible en la literatura especializada y el criterio de los expertos.

Selección de las variables que describen o caracterizan la muestra

La selección de las variables relevantes a los objetivos del estudio es decisiva para que los resultados tengan sentido. La elección de las variables debe ser coherente con la investigación que se lleva a cabo. La inclusión de variables no

relevantes aumenta la posibilidad de tener casos atípicos. Se utilizará mientras sea posible un mismo tipo de variable, en caso contrario se estandariza.

Para la selección de las variables se trabaja con los expertos. La selección se realiza a través de una tormenta de ideas de tipo directo (Torrón Durán, 1997). El modelador permite las rondas necesarias hasta que todas las posibles variables sean expuestas. Luego se realiza de forma escrita y anónima una votación por las variables que deben salir de la selección. Una vez marcadas en el listado de variables y analizados los fundamentos de las propuestas de forma participativa, se repite la votación para eliminar de forma definitiva las variables que no tengan un grado de influencia significativo según la apreciación de los expertos.

Depurado el listado de variables, se procede a la clasificación de las variables en variables de condición y variables de interés. Esto puede realizarse de forma abierta o escrita y anónima.

Elección de la medida de proximidad entre los métodos

El conocimiento de las distancias ayudará a interpretar las agrupaciones y a determinar cuál es el punto de corte más adecuado. Las medidas de similitud/distancia definen la proximidad y no covariación, y vienen determinada por la escala de medida de las variables (ordinal o de intervalo-razón). El resultado de la técnica depende de la medida de asociación-similitud-distancia utilizada, así distintas medidas de proximidad pueden ofrecer resultados distintos. Con variables dicotómicas deberá utilizarse alguna de las distancias que SPSS integra dentro de la opción binaria, con variables cualitativas se tendrá que seleccionar la media dentro de la opción frecuencias y para variables cuantitativas, SPSS ofrece la opción intervalo.

Tabla 1. Principales medidas de distancia según el tipo de variable.

Variables cuantitativas	Variables cualitativas	Datos dicotómicos
Distancia euclídea	Chi cuadrado	Jaccard
Distancia euclídea al cuadrado	Phi cuadrado	Russel y Rao
Coseno de vectores		Sokal y Sneath
Correlación de Pearson		Rogers y Tanimoto
Distancia métrica de		

Chebynev		
Bloque, Maniatan o City-block		
Distancia de Minkowski		

Adaptado de (Vilà-Baños, et al., 2014)

Elección del criterio para agrupar los individuos en conglomerados y la ejecución del algoritmo

No existe un criterio único para seleccionar el mejor algoritmo y por tanto la decisión es subjetiva en función del objetivo pretendido. Se puede obtener una agrupación progresiva o jerárquica. Dentro de esta tipología se pueden identificar diferentes métodos. El más utilizado es el método promedio entre grupos, el resto de los métodos requiere trabajar con la distancia euclídea D^2 como criterio.

Algunos de los métodos más trabajados se muestran en la tabla 2.6.

Tabla 2. Métodos de agrupamiento.

Métodos	Descripción
Distancia mínima o vecino más próximo	Los grupos se unen considerando la menor de las distancias existentes entre los miembros más cercanos de distintos grupos. Crea grupos más homogéneos. Ayuda a detectar <i>outliers</i> , pero no es útil para resumir datos. Los <i>clusters</i> son demasiado grandes. Es el método más sencillo.
Distancia máxima o vecino más lejano	Los grupos se unen considerando la menor de las distancias existentes entre los miembros más lejanos de distintos grupos. Los grupos resultantes son más heterogéneos. Es útil para detectar <i>outliers</i> y los <i>clusters</i> son pequeños y compactos.
Media o promedio entre grupos	La distancia entre los grupos se obtiene calculando la distancia promedio entre todos los pares de observaciones independientemente de que estén próximos o

	alejados. Agrupa los conglomerados con un tamaño óptimo y fusiona <i>clusters</i> con varianzas pequeñas. Es uno de los métodos más utilizados.
Vinculación intra-grupos	Es una variante de la anterior aunque en este caso se combinan los grupos buscando que la distancia promedio dentro de cada conglomerado sea la menor posible.
Ward o método de varianza mínima	La distancia entre dos <i>clusters</i> se calcula como la suma de cuadrados entre grupos en el ANOVA. Se persigue la minimización de la varianza intragrupal y maximiza la homogeneidad entre los grupos. Suele ser muy adecuado aunque los <i>clusters</i> que genera suelen ser pequeños y muy compactos. Es especialmente sensible a los <i>outliers</i> .
Centroide	La distancia entre dos <i>clusters</i> se calcula como la distancia entre sus centroides. Se trabaja con los valores originales. Las variables deben ser cuantitativas de intervalo. Este método es sensible de los tamaños de los grupos son muy diferentes.
Agrupación de medianas	Variante del método anterior en la que no se considera el número de casos que forman cada uno de los agrupamientos, sino solo el número de conglomerados.

Fuente: (Vilà-Baños, et al., 2014)

Identificar las agrupaciones resultantes

Para esta identificación se pueden auxiliar de representaciones gráficas de los conglomerados, tales como dendogramas y diagramas de témpanos.

Interpretar los resultados obtenidos

La interpretación y decisión final sobre el número adecuado de agrupaciones es totalmente subjetiva. En la decisión final tiene que primar un equilibrio entre un número reducido de *clusters* con lo que se obtiene agrupaciones heterogéneas y un número excesivo de agrupaciones con la dificultad de interpretación que lleva asociada. Generalmente se asocia la distancia óptima como punto de corte cuando en el nivel de agrupación se producen saltos bruscos.

A partir de la utilización del SPSS como recurso informático se obtienen dos tipos de información, una numérica que incluye la cuantificación de distancias entre grupos y otra gráfica que permite visualmente e intuitivamente identificar los grupos o conglomerados que se han formado.

Con los *clusters* definidos, se debe elaborar una caracterización para cada uno, de esta forma se facilita la selección de métodos en la etapa próxima.