

DIAGRAMAS CAUSALES

El conjunto de los elementos que tienen relación con un problema en estudio y permiten en principio explicar el comportamiento observado, junto con las relaciones entre ellos, en muchos casos de retroalimentación, forman el Sistema. El Diagrama Causal es un diagrama que recoge los elementos clave del Sistema y las relaciones entre ellos.

2.1. RELACIONES CAUSALES

Una relación es una par causa efecto, no hay sentido hablar de relaciones causales a menos que exista una clara separación entre cantidades dependientes e independientes donde cada cantidad dependiente puede expresarse explícita y unívocamente como función de las cantidades restantes. Mientras que las independientes no pueden expresarse explícitamente.

Si el control de un sistema no es conocido, nuestra primera tarea debe ser el de determinar este control investigando el comportamiento del sistema desde el punto de vista de las relaciones causales y complementando con el conocimiento disponible del sistema. Por tanto antes de resolver un problema relativo a un sistema se tiene que conocer el control.

Las cantidades independientes son las que vienen del medio ambiente y producen cambios en el sistema.

Cantidades dependientes son las producidas por el sistema, derivadas de las independientes y de las propiedades del sistema. Ejemplo: Fuerza, temperatura.

Las cantidades del ambiente causan suceso al sistema.

2.2. CAUSAS Y EFECTOS

Existen varios tipos de relaciones causales. En lo que sigue discutiremos algunos de los tipos más comunes.

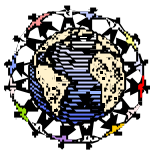
Ejemplos



Consumo de
alimentos



peso



- población



+ recurso per capita

Relaciones que reflejan leyes físicas o lógicas. Por ejemplo, las leyes del movimiento de Newton:

Fuerza de empuje _____ movimiento de aceleración

Casos de esta relación abundan:

- La fuerza de empuje del motor de un carro causa que este se mueva, etc.

Incluso este caso tan directo y simple parece tener sus excepciones. Por ejemplo, no podríamos afirmar que una persona que ejerce una fuerza en contra de un edificio causa que este se mueva. ¿Qué sucede en este caso?

Cuando se plantean relaciones causales se asume implícitamente que todos los otros factores no involucrados en la relación permanecen constantes. Esto no sucede en este caso. Las estructuras de los edificios son especialmente diseñadas para ser resistentes a fuerzas menores (como el empuje que una persona puede ejercer en una de sus paredes) o mayores (como la fuerza del viento, etc.).

Al plasmar relaciones causales ayuda considerar lo que pasaría si la influencia particular considerada fuera la única que actúa sobre el objeto en particular.

Ejemplo 1

Nacimientos ————— Crecimiento de la Población

Esta relación causal es siempre cierta a pesar del hecho de que países como una tasa de nacimientos positiva no muestren crecimiento de su población. Esto sucede porque los nacimientos no son la única influencia causal que actúa sobre el crecimiento de la población, la mortalidad y otros factores pueden explicar el no crecimiento de la población. Sin embargo, si todo lo demás permanece constante, la relación es verdadera.

En muchos casos, es más apropiado cambiar la palabra causa por influencia o afecta.

Considere por ejemplo: “Consumir alimentos causa el peso” versus “Consumir alimentos afecta el peso”

Ejercicio 1

Escriba una o dos oraciones estableciendo por que usted esta de acuerdo o en desacuerdo con cada una de las siguientes relaciones sugeridas:

- a) Dinero -> Felicidad
- b) Inteligencia -> Notas
- c) Hojas -> Viento
- d) Fuego -> Humo

Ejemplo 2

La causalidad puede ser difícil de observar y medir en algunas circunstancias. Considere la siguiente relación:

Uso de Cinturones de Seguridad ————— Reducción en la fatalidad de accidentes de tránsito

Este es un ejemplo de relaciones donde lo que se representa es un agregado de comportamientos individuales. En promedio, usar cinturones de seguridad reduce la probabilidad de fatalidades en los accidentes de tránsito pero ciertamente hay ciertos tipos de accidentes donde el uso del cinturón de seguridad no conduce a una reducción en la fatalidad. Además, la reducción en la fatalidad de los accidentes de tránsito puede obtenerse por otras causas o influencias.

Ejemplo 3

Un tipo particular de relación causal muy problemática es la postulan interpretaciones de motivaciones personales. Por ejemplo, en un país de clima templado un sociólogo está realizando un estudio de las causas de suicidio en una población. El postula que la reducción en las horas de luz diurna que caracterizan los meses de invierno es una de las causas de suicidios en los climas templados en los meses de invierno.

Menos horas de _____ Incremento en la
luz diurna tasa de suicidios

Esta relación no representa comportamiento predictivo a nivel individual; es decir, es imposible predecir si un individuo en particular se suicidará o no basado en esta relación causal. Un investigador pudiese plantear esta relación como una representación estadística del agregado de la población. Sin embargo, aun en este caso su interpretación es difícil ya que pueden existir varias interpretaciones diferentes o solapadas para el mismo hecho que involucran eventos diferentes. Por ejemplo, la relación podría establecerse de la siguiente manera:

Menos Horas _____ Restricción de _____ Aumento _____ Estrés _____ Incremento
de luz diurna las actividades del desempleo financiero de la tasa de
al aire libre suicidio

Ejercicio 2

Complete cada una de las oraciones siguientes de manera de construir una relación causal factible y dibuje un diagrama con flechas para representarla:

- a) La dificultad de la materia de Ingeniería de sistemas causa que yo _____
- b) El estrés hace que yo _____
- c) Altos precios de los pasajes en flotas causan _____
- d) Escasez de ingenieros en el mercado laboral causa _____
- e) La inflación causa _____
- f) El desempleo causa _____
- g) Un incremento en el número de conejos en un campo causa _____

Resumiendo lo discutido en los ejemplos anteriores al plantearse una relación causal es bueno preguntarse:

- ¿Cuál es el tipo de causalidad involucrada?
- ¿Qué tipo de evidencia puede considerarse para aprobar o refutar la relación?
- ¿Qué otros supuestos alternativos son posibles?

2.3. RELACIONES DE INFLUENCIA SIMPLE

En realidad, *un diagrama causal* es en sí un modelo¹, en la medida en que supone hacer una representación gráfica de un sistema. Un diagrama causal es un modelo más formalizado que una descripción lingüística; pero mucho menos preciso que un sistema de ecuaciones matemáticas. En un diagrama causal aparecen formalizados los elementos del sistema y se establecen las relaciones entre ellos, haciendo constar cuál es el signo de variación esperado entre cada par de elementos. Así, cuando se vea representada la relación:

$$a \text{ — } ^+b$$

Natalidad — ^nacimientos

Se quiere significar que las variables *a* y *b* se mueven temporalmente en el mismo sentido, es decir, si una crece, la otra también y viceversa.

Por otra parte también se puede presentar la relación del tipo:

$$a \text{ — } ^-c$$

Superficie de una comarca — - densidad población

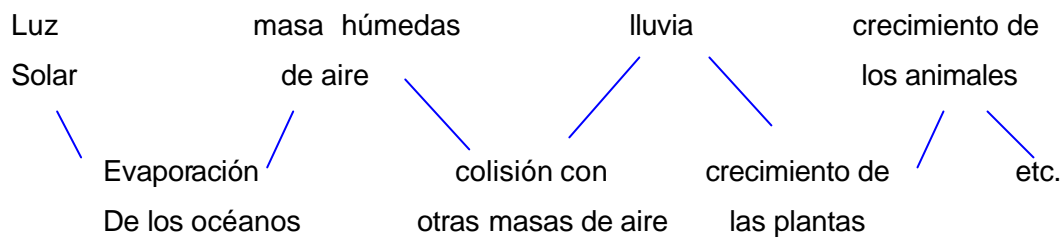
Significa todo lo contrario, es decir, que las variables *a* y *c* se mueven a lo largo del tiempo en sentido contrario: cuando una crece la otra decrece y viceversa.

2.4. LAZOS DE REALIMENTACIÓN

Un lazo o bucle de realimentación es una cadena cerrada de relaciones causales y constituyen el componente estructural básico de los modelos de dinámica de sistemas.

Sin lazos de realimentación, una cadena causal puede extenderse casi indefinidamente sin ningún claro propósito. Considere por ejemplo, el ciclo hídrico en la tierra:

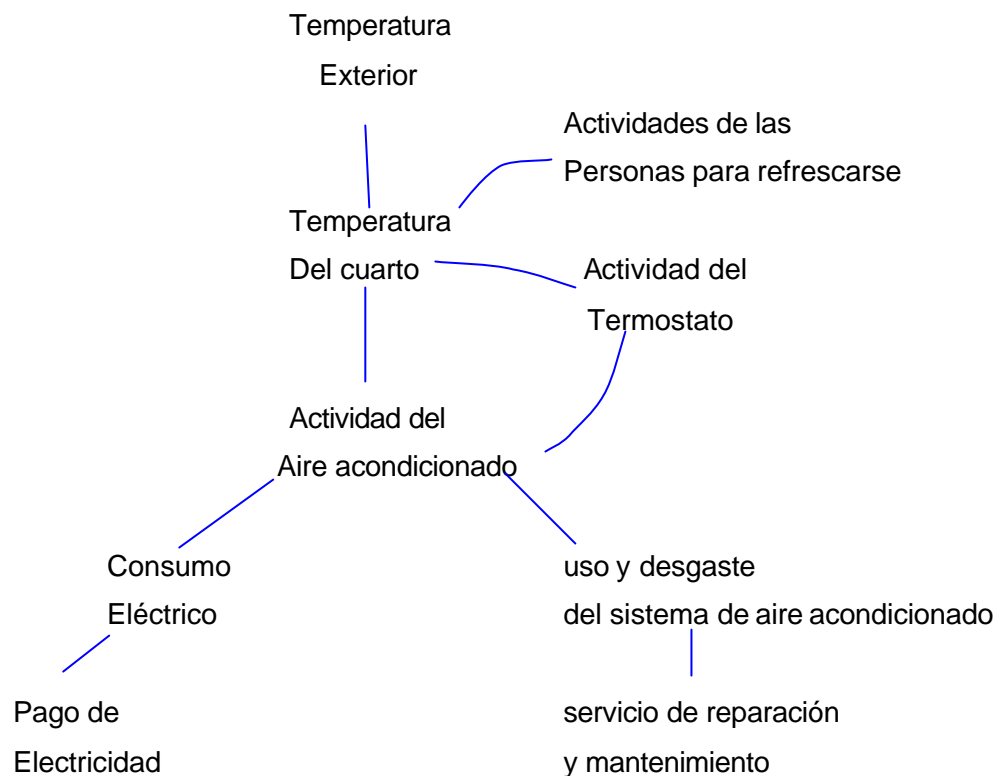
¹ Modelo : es una representación formal de un sistema.



Para hacer más clara la representación del sistema es necesario concentrarse en lazos o cadenas causales. En un lazo causal, la causa inicial es como una onda que se propaga a través de la cadena entera de causas y efectos hasta que la causa inicial termina siendo un efecto en si misma. Por ejemplo, considere la perturbación en la temperatura de un cuarto causada por un incremento en la temperatura del ambiente exterior. Este aumento en la temperatura puede causar varias acciones:

- Las personas se pueden poner ropas más frescas o moverse a una zona más fresca de la casa.
- El termostato del sistema del aire acondicionado enciende el aire. Encender el aire causa un incremento en el consumo de energía eléctrica de la casa.
- También, encender el aire causa el uso y desgaste del sistema de aire acondicionado lo que ocasiona gastos futuros en mantenimiento y reparación del sistema de aire.

Sin embargo, ninguna de estas posibles relaciones afecta la temperatura del aire del cuarto en cuestión. El efecto importante del termostato del sistema que enciende el aire es la disminución o control de la temperatura del aire. El diagrama causal que representa todas estas relaciones es como sigue:



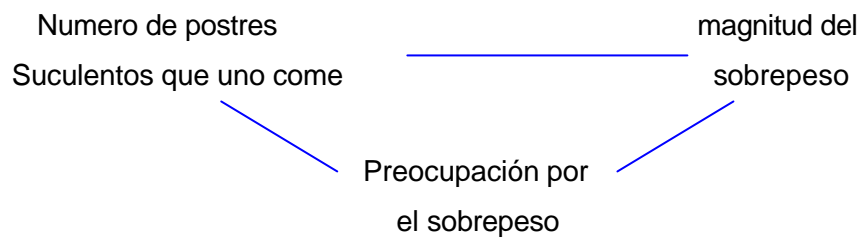
Concentrarse en los lazos cerrados de realimentación ayuda en la definición de los modelos de dinámica de sistemas de la siguiente manera:

- Ayuda a aclarar la definición de las fronteras del sistema, es decir, ayuda a vislumbrar que debe y no debe ser incluido en el sistema bajo estudio.
- Ayuda a concentrarse en las relaciones importantes para controlar el sistema (controlar la temperatura de un cuarto, la inflación, la contaminación de un ecosistema, etc.)

Algunos otros ejemplos de lazos de realimentación se muestran a continuación:

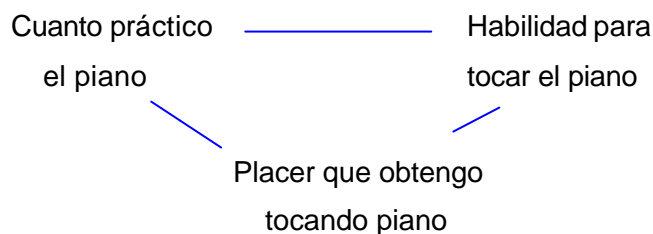
Ejemplo 4

El número de postres succulentos que uno come afecta la magnitud del sobrepeso. La magnitud del sobrepeso influencia mi preocupación por el sobrepeso. La preocupación por el sobrepeso influencia el número de postres succulentos que como.



Ejemplo 5

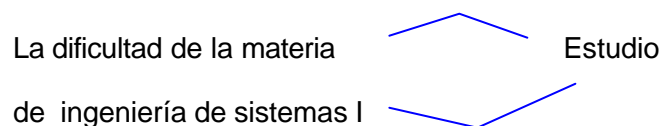
Cuanto práctico el piano afecta mi habilidad para tocarlo. A su vez, mi habilidad para tocar el piano afecta el placer que obtengo al tocar el piano. El placer que obtengo al tocar el piano influencia cuanto tiempo estoy dispuesto a practicar el piano.



Ejercicio 3

Complete los diagramas causales del ejercicio II de manera de producir un diagrama causal cerrado o de realimentación. Escriba una corta explicación del comportamiento que espera en el lazo identificado. Por ejemplo, un posible lazo causal para

a) sería:



La dificultad de la materia de Ingeniería de sistemas I afecta cuanto tiempo tengo que estudiar. El tiempo que dedico para estudiar afecta como percibo la dificultad de la materia de ingeniería de sistemas I.

2.5. CATEGORÍAS O CLASES DE LAZOS DE REALIMENTACIÓN

Las relaciones que se postulan en los diagramas causales pueden hacerse más claras describiendo si el efecto de las causas sobre los efectos es de disminución o aumento.

Considere el ejemplo 5 anterior de la práctica del piano. Es claro que las siguientes proposiciones son equivalentes:

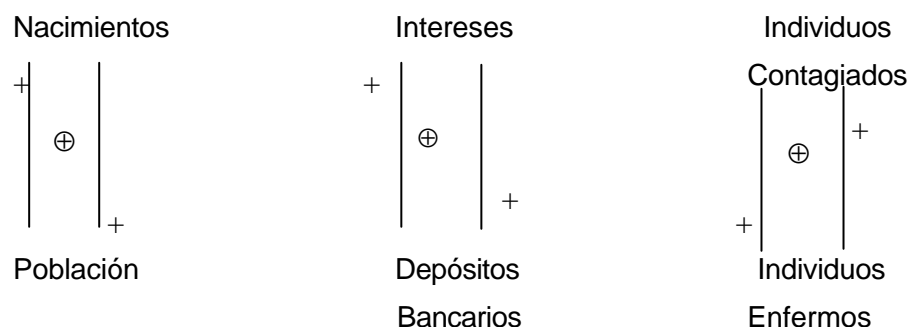
- ✓ Mientras más práctico mejor mi habilidad para tocar el piano; mientras mejor es mi habilidad para tocar el piano, más disfruto tocando el piano; y mientras más disfruto tocando el piano más lo práctico.
- ✓ Un incremento en la cantidad de práctica de piano causa un incremento en mi habilidad para tocar el piano; un incremento en la habilidad para tocar el piano causa un incremento en el placer que me produce tocar el piano. Esto a su vez causa un incremento en la cantidad de práctica.

Por supuesto, las relaciones opuestas también son ciertas:

- ✓ Mientras menos practico peor mi habilidad para tocar el piano; mientras peor es mi habilidad para tocar el piano, menos disfruto tocando el piano; y mientras menos disfruto tocando el piano menos lo práctico.
- ✓ Un decremento en la cantidad de práctica de piano causa un decremento en mi habilidad para tocar el piano; un decrecimiento en la habilidad para tocar el piano causa un decrecimiento en el placer que me produce tocar el piano. Esto a su vez causa un decremento en la cantidad de práctica.

2.5.1 BUCLES DE REALIMENTACIÓN POSITIVOS

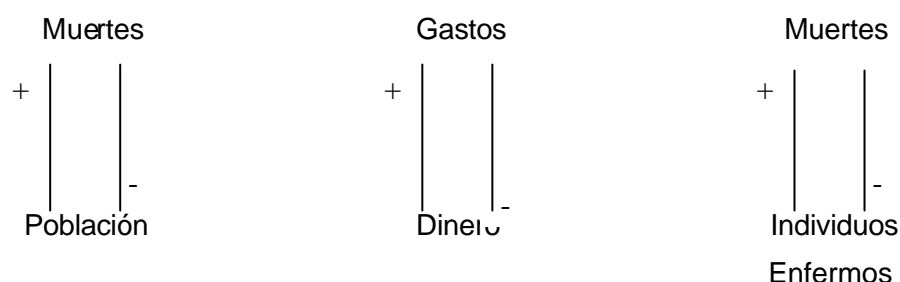
Considérese los ejemplos de la siguiente figura, en los tres casos sucede que los bucles conducen o a una expansión o a una depresión. En efecto, la cadena de causalidad implícita en cada ejemplo lleva a que si crece la variable principal, crecerá la variable-flujo sobre la que influye, y de la que depende. Pero, también es verdad el razonamiento inverso: si el valor de la variable principal se hace negativo, el proceso tenderá a deprimirse.



Este tipo de lazos se conocen como **lazos o bucles de realimentación positiva o de refuerzo**. En estos lazos la variación de un elemento se propaga a lo largo del lazo de manera de reforzar la variación inicial.

2.5.2 BUCLES DE REALIMENTACIÓN NEGATIVOS

Tomando en cuenta la figura, al contrario de lo que sucedía en los casos considerados antes, ahora al aumentar una variable la otra disminuye, o viceversa, al disminuir una variable, la otra aumenta.



El otro tipo de **lazos o bucles** son los **de realimentación negativa o compensación**: la variación de un elemento se transmite a lo largo de un bucle de manera que determine una variación de signo contrario en el mismo elemento. El lazo de ingestión de postres succulentos es un ejemplo de un lazo de realimentación negativa ya que mientras más postres succulentos uno come mayor es la cantidad de sobrepeso; mientras mayor es la cantidad de sobrepeso, mayor es la preocupación por el sobrepeso y mientras más preocupado este acerca del sobrepeso menos desiertos succulentos ingiere.

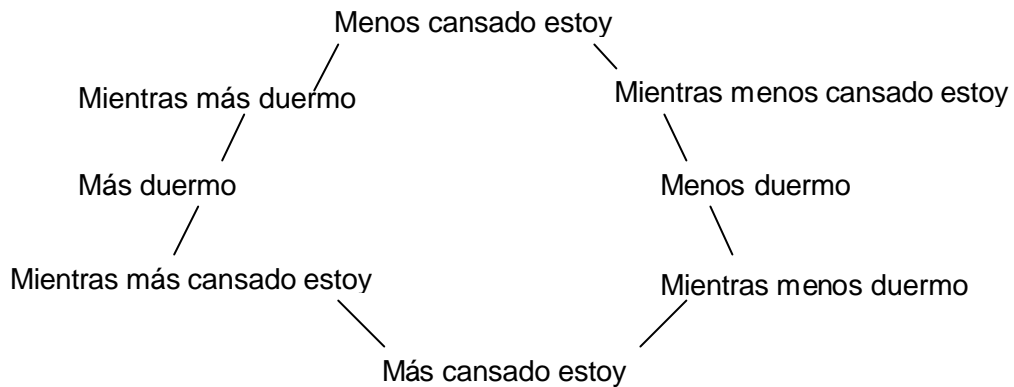
El establecimiento de estas categorías hace más claro que las variables que conforman los lazos causales deben ser cantidades que puedan cuantificarse de alguna manera de forma tal que tenga sentido hablar de incrementos y decrementos.

2.6. REGLAS PARA LOS SIGNOS

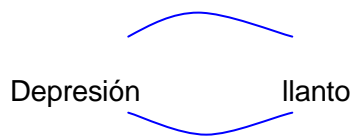
- Cuando en una secuencia de realimentación sólo hay signos positivos, el bucle es explosivo, o positivo
- Cuando sólo hay signos negativos, el bucle es explosivo, si el número total de signos es par; y depresivo en caso contrario
- Cuando hay signos positivos y negativos, el sentido del bucle es explosivo si la suma de signos negativos es par, cualquiera que sea el número de signos positivos. Caso contrario, el bucle es depresivo.

2.7. RECORRIDO DE UN LAZO CAUSAL

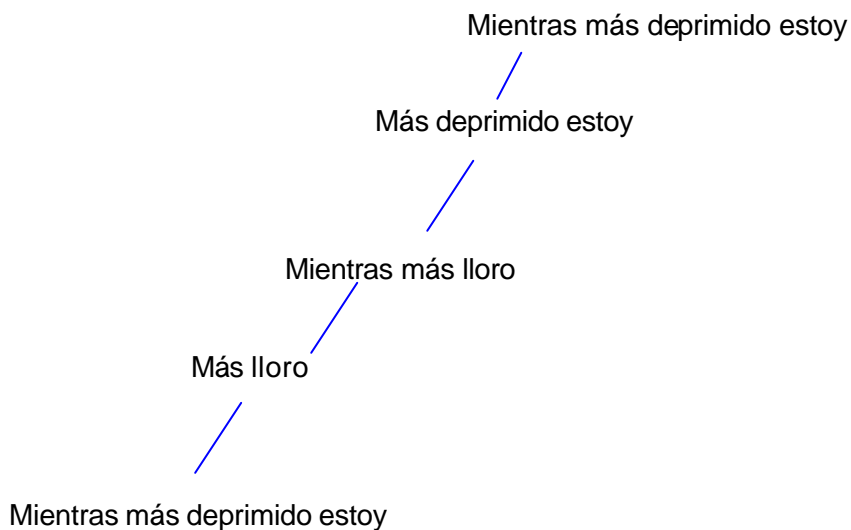
Considere el siguiente ejemplo:



Este tipo de patrón es característico de los lazos compensatorios o negativos. En cambio, los lazos positivos producen un patrón muy diferente. Considere el siguiente ejemplo:



Al recorrer este lazo obtenemos el siguiente patrón unidireccional que es característico de los lazos de reforzamiento:



Ejercicio 4:

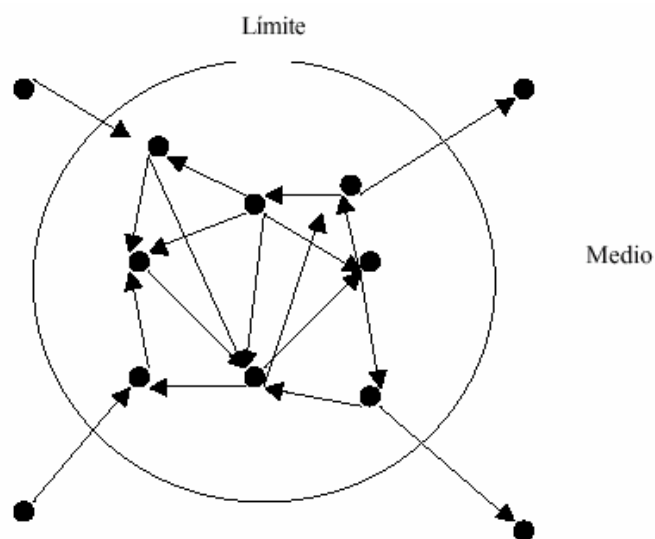
Para los mismos casos del ejercicio 3 determine si el lazo es positivo o negativo.

2.8. FRONTERAS DEL SISTEMA

Las fronteras del sistema constituyen una línea de demarcación que establece que se incluye o se excluye del modelo. Donde se traza la frontera puede considerarse algo subjetivo ya que esta demarcación se basa en parte en quién está interesado en el problema y cuales son los objetivos que se persiguen con el sistema. Los siguientes principios ayudan a entender como realizar la demarcación:

- Los límites del sistema deben escogerse de manera tal que incluyan en su interior aquellos componentes necesarios para generar los modos de comportamiento de interés. Si se trata de estudiar un problema, los elementos descritos en el límite del sistema deben ser capaces de generar este problema.
- Aunque el concepto de límite pretender explicar que el comportamiento e interés del sistema se genera en el interior de los límites y no viene determinado del exterior, eso no quiere decir que el comportamiento del sistema no vaya a ser afectado de alguna manera por el exterior sino que la acción del medio sobre el sistema puede ser considerada como una perturbación que afecta el comportamiento autónomo del sistema; pero ella misma no suministra al sistema sus características esenciales
- Los elementos que se encuentran fuera de los límites del sistema están relacionados con aquellos que se encuentran dentro de manera muy diferente a cómo los elementos que se encuentran dentro están relacionados entre sí. Las relaciones de causa-efecto entre el medio y el sistema son unidireccionales, mientras que los elementos en el interior del sistema están estructurados por medio de lazos de realimentación que determinan una fuerte interacción entre ellos.

La siguiente figura ilustra estos conceptos:



Ejemplo 4

Considere una compañía que distribuye alimentos frescos (como leche y pan) a un conjunto de tiendas. La compañía está interesada en estudiar los factores que afectan la adecuada y oportuna distribución de los productos. Dentro de los límites del sistema se incluirían las fábricas y los distribuidores de los productos. Ahora bien si para la misma compañía el objetivo del estudio fuera determinar el impacto de la frescura de los productos en las ventas, además de los componentes ya estudiados habría que incluir también dentro del sistema el comportamiento de los consumidores y a los competidores de la empresa.

Ejemplo 5

El jefe de la zona educativa de El Alto esta interesado en una visión sistémica de todas las escuelas primarias en su jurisdicción. Comienza su tarea haciendo una lista de los componentes principales que en su opinión conforman el sistema de escuelas primarias:

Estudiantes	libros	maestros	trabajos	pupitres
Directores	juegos	bibliotecas	exámenes	papel
Salones	amigos	música	pizarrón	

Implícito en la lista es una afirmación de lo que el jefe considera importante en las escuelas primarias. Sin embargo, no esta claro para que se hizo esta lista y como se seleccionó. La lista podría servir, por ejemplo, para comunicar a los padres de los niños las actividades que

los niños realizan en la escuela. La lista sería muy diferente si el problema fuera, por ejemplo, el presupuesto de la zona educativa para la escuela primaria el próximo año ó una revisión de los programas de la escuela primaria. Como este ejemplo lo demuestra, es imposible identificar los elementos que deben incluirse en un sistema sin una idea clara de cual es el problema y quien está interesado en él.

Ejercicio 5

- a) Haga una lista de cinco sistemas y una pregunta o problema interesante asociada a ellos
- b) Seleccione uno de los problemas de la lista anterior. Escriba palabras o frases que ayuden a definir los elementos que deben incluirse en el sistema en cuestión
- c) ¿Puede pensar en alguna manera de reenfocar el sistema anterior que cambiaría la definición de los límites del sistema? Plantee el problema y rehaga la lista de los componentes
- d) Desarrolle un diagrama causal para uno de los puntos de vista especificados en

2.9. REGLAS PARA LOS SIGNOS:

Cuando en una secuencia de realimentación sólo hay signos positivos, el bucle es explosivo, o positivo

- Cuando sólo hay signos negativos, el bucle es explosivo, si el número total de signos es par; y depresivo en caso contrario
- Cuando hay signos positivos y negativos, el sentido del bucle es explosivo si la suma de signos negativos es par, cualquiera que sea el número de signos positivos. Caso contrario, el bucle es depresivo.

EJERCICIOS

1. Crear un Diagrama Causal del sistema.



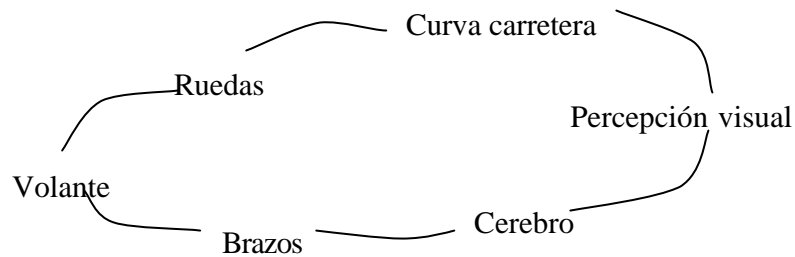
- La población se incrementa debido a la natalidad.
- La natalidad se incrementa debido al tamaño de la población.
- La población se reduce debido al número de muertes.
- Como la población aumenta, también aumenta el número de muertes.
- Como la población aumenta, la densidad de población de la área también aumenta.
- Como la área dada crece, la densidad disminuye. (Ya que dada área no se ve afectada por ninguna otra variable, es decir, no cambia con los valores de otras variables del sistema, se le llama una variable exógena. Una variable afectada por otros factores en el sistema, se le conoce como variable endógena).
- Como la densidad aumenta, la fertilidad disminuye; por lo tanto, la natalidad también disminuye.
- La densidad de población afecta el tiempo de vida promedio de las personas que a su vez provoca muertes.

2. Construya un diagrama causal para el siguiente sistema:

“Cuando el precio de las papas sube, aumenta la superficie sembrada de papas, y consecuentemente la producción de este tubérculo. Esto, a su vez, supone una caída del precio. Introduzca la variable exógena precipitaciones o lluvias, como causante parcial de una mayor o menor producción”.

3. Construya un diagrama causal con los siguientes elementos del sistema ciudad: población, contaminación, tráfico, automóviles, calidad de vida, ruidos, habitabilidad, atracción de población, repulsión de población y otros que usted considere necesarios u oportunos.

4. Construya un diagrama causal del siguiente sistema: " Si un periódico tiene una gran difusión insertará mucha publicidad, lo cual aumentará su difusión. Para aumentar las ventas es muy conveniente disponer de vendedores; pero éstos cuestan dinero y disminuyen los beneficios, lo cual incide negativamente sobre la tirada".
5. Considere el bucle siguiente:



¿Cómo influye la velocidad en la existencia de retardos entre percepción visual y giro de las rudas? ¿Cómo influye el estado del conductor en esa secuencia?