

---

# PRÁCTICA 3

## TEORIA DE SISTEMAS

---

IRENE CORCHADO FERNÁNDEZ



## Índice

INTRODUCCIÓN.....	2
ESTADO DEL ARTE .....	2
OBJETIVOS DEL TRABAJO .....	3
METODOLOGÍA .....	4
CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO.....	5
ENUCIADO: sistemas de bicicletas. ....	5
Diagrama de Forester .....	6
Modelo matemático .....	6
Simulaciones .....	7
RESULTADOS Y EVALUACIÓN .....	8
Inconveniente surgido y como se ha resuelto .....	9
CONCLUSIÓN .....	10
BIBLIOGRAFÍA .....	10

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Vensim .....	6
Ilustración 2: Gráficán bicis mantenimiento .....	7
Ilustración 3: Gráfica bicis disponibles .....	7
Ilustración 4: Simulación .....	8

Enlace    Github:

[TS.Irene.Corchado.Fernandez/TS.Irene.Corchado.Fernandez.zip at main · irenecorchadofernandez/TS.Irene.Corchado.Fernandez · GitHub](https://github.com/TS.Irene.Corchado.Fernandez/TS.Irene.Corchado.Fernandez.zip)

## INTRODUCCIÓN

Muchas de las complicaciones que surgen en el día a día no se pueden entender de manera aislada, pues se componen de varios pedazos que se afectan entre sí. Si solo miramos una parte del problema, es fácil no ver como las elecciones hechas en un lado impactan en el resto del conjunto. Por eso mismo, necesitamos tener formas de mirar los sucesos en su totalidad y captar como van cambiando con el tiempo.

La teoría de sistemas aparece como algo práctico para enfrentar estas clases de problemas, ya que estudia como se modifican las estructuras conforme avanza el tiempo y de que manera las conexiones entre sus partes definen como actúan. Usando esquemas sencillos, se pueden dibujar situaciones reales y revisar lo que pasa de una manera nítida y estructurada.

En este trabajo se usa esa perspectiva para examinar un sistema de bicicletas para la ciudad, un servicio que depende de bastantes variables y cuya administración exige un balance permanente. A lo largo del desarrollo del trabajo, se presenta un ejemplo real y se elabora un esquema que sirve para poder ver como progresa el sistema, considerando cosas como el uso, los daños o los arreglos.

Para lograr esto se siguen varios pasos que nos llevan de una idea vaga a un modelo que se puede estudiar con más precisión. Primero se aclara el problema y se señalan sus componentes clave. Luego, se representan los vínculos entre las distintas piezas y se arma el modelo para que pueda simularse y veamos como se comporta con el paso del tiempo. Finalmente, se analizan los resultados obtenidos, se detectan posibles limitaciones y se plantean mejoras que permiten que el sistema muestre un funcionamiento más realista.

## ESTADO DEL ARTE

La teoría de sistemas es una forma de estudiar como cambian los diferentes sistemas o problemas de la vida cotidiana con el tiempo. Esta metodología fue creada por Jay W. Forrester en los años sesenta, cuando empezó a analizar como funcionaban las empresas, las ciudades y otros sistemas complejos. Su idea principal era que muchos problemas no se pueden entender mirando solo una parte del sistema, sino que es necesario ver como todas las piezas están conectadas entre sí.

Para ello, la dinámica de sistema utiliza niveles, flujos y bucles de retroalimentación. Estos elementos permiten representar como algo aumenta, disminuye o se mantiene estable según las decisiones que se toman y según como reaccionan las diferentes partes del sistema. Gracias a este enfoque, es posible ver comportamientos que no siempre son intuitivos o vemos a primera vista, como crecimientos descontrolados o ciclos repetitivos.

Hoy en día, esta metodología se usa en muchos campos como la ingeniería la economía o la gestión de recursos. En estos servicios, la dinámica de sistemas ayuda a entender como le influyen diferentes factores, ya sean internos o externos a el.

Durante este cuatrimestre hemos trabajado todos estos conceptos en la asignatura llamada Teoría de sistemas. Hemos aprendido a crear diagramas casuales, diagramas de Forrester, ecuaciones matemáticas y modelos en Vensim. Todo este aprendizaje nos permite analizar sistemas reales o inventados y ver como se comportan con el paso del tiempo.

En este trabajo aplicamos todo lo aprendido mediante un ejemplo práctico: un sistema de gestión de bicicletas urbanas. A través del modelo, podemos observar como afectan el clima, el uso de los ciudadanos, las averías, las reparaciones y la compra de nuevas bicicletas al funcionamiento del sistema.

## OBJETIVOS DEL TRABAJO

El propósito de este trabajo es analizar el funcionamiento de un sistema de gestión de bicicletas urbanas mediante la construcción de un modelo dinámico que permite entender como evolucionan las bicicletas disponibles y las que están en mantenimiento a lo largo del tiempo. A partir del enunciado planteado, se busca representar de forma clara como influyen factores como el clima, el uso del servicio, las averías, las reparaciones y la compra de nuevas bicicletas en el comportamiento global del sistema.

Para lograrlo, el trabajo se centra en los siguientes objetivos:

- Identificar las variables clave del sistema, distinguiendo entre niveles, flujos y parámetros que afectan al funcionamiento del servicio de bicicletas.
- Representar gráficamente el sistema mediante un diagrama sinérgico y un diagrama de Forrester que muestren las relaciones entre las variables.
- Formular el modelo matemático mediante las ecuaciones que tendrán lugar en las variables como la averías o las reparaciones.

- ° Simular el modelo en Vensim para observar como evoluciona el comportamiento de las bicicletas.
- ° Detectar posibles problemas en el modelo inicial y darles una solución tras buscar una causa clara
- ° Interpretar los resultados obtenidos
- ° Extraer conclusiones

## METODOLOGÍA

Para realizar este trabajo, se ha creado un ejercicio propio basado en un sistema ficticio para manejar bicis de ciudad. El objetivo principal no es copiar una situación real tal cual, sino poner en práctica lo aprendido en clase de Teoría de sistemas y ver como cambia un sistema con el tiempo.

Al principio se redactó el enunciado del problema, mostrando un caso lógico y sencillo que muestra como funciona la gestión de las bicicletas. Desde ahí, se definió los límites del sistema, eligiendo que partes incluiríamos en el modelo y cuales dejaríamos fuera.

Después se señalaron las variables principales del sistema. Distinguimos entre las que se van juntando con el tiempo, como el número de bicicletas listas para usar o las que están en mantenimiento, y las que causan cambios a dichas bicicletas, como las que se dañan, las que se reparan y las que se compran. También tomamos en cuenta otros factores que afectan a la dinámica del sistema, por ejemplo cuanto de usan o como influye el clima del momento.

Una vez ubicadas las variables y los niveles, hacemos el diagrama sinérgico cuyo objetivo es mostrar visualmente como se conectan las diferentes partes del sistema. Este esquema ayudó a ver como una variable influye en otra y a detectar si había bucles, es decir, situaciones donde una acción genera una reacción que a su vez impacta donde empezó todo. Así comprobamos que nuestro ejercicio contiene un bucle.

Luego, se hizo el diagrama de Forrester, donde se organizan de mejor manera las variables del sistema, separando las cantidades que se acumulan de los flujos que están alterando. Luego de decidir la estructura del sistema, creamos las fórmulas del modelo, dándoles distintos valores a las variables. Estos datos no vienen de valores reales, sino que son estimaciones lógicas elegidas para que el sistema tenga sentido y podamos estudiar el comportamiento del sistema. En las primeras pruebas se notó un comportamiento poco realista, lo que nos

obligó a cambiar el modelo añadiendo una salida a las bicis en mantenimiento para aquellas que no se pueden reparar.

Finalmente, se metió el modelo en el programa Vensim, y ahí se hicieron la simulaciones para ver como crecía o decrecía la cantidad de bicicletas disponibles y las que estaban en reparación a lo largo del tiempo. Estudiar las gráficas que salieron facilitó el entendimiento de los resultados, como encontrar fallos en el problema original y comprender mejor la dinámica del sistema.

## CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO

### ENUCIADO: sistemas de bicicletas.

Una empresa gestiona un servicio de bicicletas en una ciudad. La empresa dispone de aproximadamente unas 500 bicicletas, que se encuentran disponibles para su uso o en mantenimiento.

Las bicicletas pueden sufrir averías debido a factores climatológicos y al uso por parte de los ciudadanos. La probabilidad de que durante un mes se produzcan lluvias es del 25%. En los meses lluviosos, alrededor del 3% de las bicicletas disponibles se verían y pasan a mantenimiento.

Además, durante el uso del servicio, aproximadamente el 2% de las bicicletas utilizadas cada mes sufre daños y debe ser retirada temporalmente del sistema.

El servicio de mantenimiento repara mensualmente una parte de las bicicletas averiadas, devolviendo al sistema operativo cerca del 70% de las bicicletas de mantenimiento.

Cuando el número de bicicletas disminuye, el uso del servicio se reduce, lo que afecta negativamente a la satisfacción de los usuarios. Para mantener el sistema en funcionamiento, la empresa puede adquirir nuevas bicicletas en función del número de bicicletas fuera de servicio.

## Diagrama de Forester

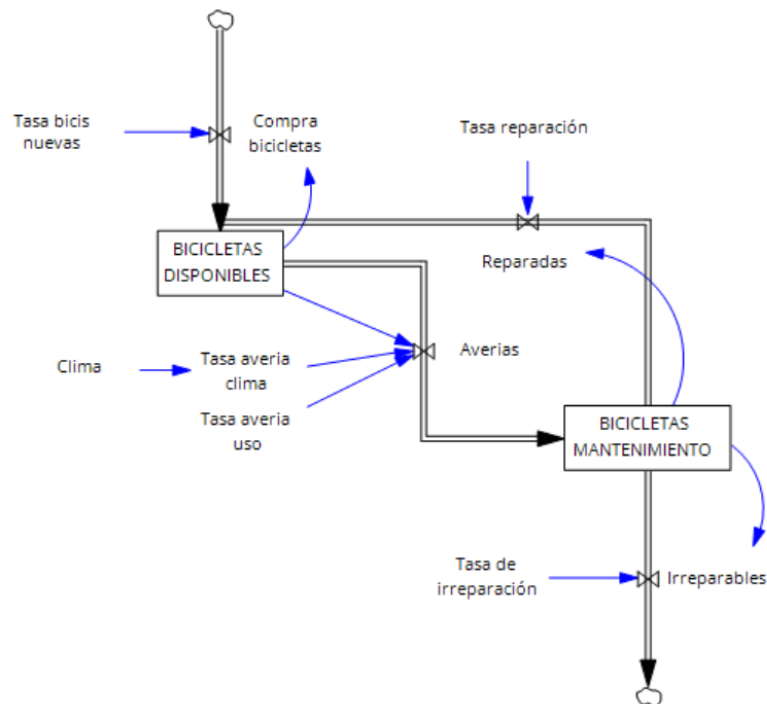


Ilustración 1: Vensim

## Modelo matemático

Bicicletas\_disponibles\_iniciales = 500

Bicicletas\_Disponibles = 500 + Reparadas + Compra\_Bicicletas - Averías

Bicicletas\_Mantenimiento\_inicial = 0

Bicicletas\_Mantenimiento = Averías - Reparadas

Tasa\_Averia\_Uso = 0.02

Clima = 0.25

Tasa\_Averia\_Clima = 0.03 \* clima

Averías = Bicicletas\_Disponibles \* (Tasa\_Averia\_uso + Tasa\_Averia\_clima)

Tasa\_Reparacion = 0.7

Reparadas = Bicicletas\_Mantenimiento \* Tasa\_Reparación

Compra\_Bicicletas = 10 bicicletas al mes

Tasa\_irreparación = 0.20

## Simulaciones

Al examinar las gráficas salidas del modelo de Vensim, notamos que el número de bicicletas sube conforme para el tiempo. Este aumento no es de golpe ni exagerado, sino que se ve una curva suave, especialmente en los primeros meses.

Las bicicletas que hay se usan de manera continua, y el uso y los factores climáticos hacen que estas se estropeen y pasen a mantenimiento. Casi todas las que están en mantenimiento vuelven a estar disponibles, con excepción de unas pocas que son irreparables y tienen que salir del sistema permanentemente.

En las primeras semanas hay muchas bicicletas disponibles, lo que hace que se usen mucho, y por eso haya más averías y arreglos. Sin embargo, como se arreglan más bicicletas de las que se salen del sistema, la cantidad que vuelve al sistema es mayor a la que se elimina. Por eso mismo, el total de bicicletas sigue creciendo en los primeros meses.

La curva suave que muestran las gráficas da a entender que el crecimiento no será el mismo todo el tiempo. Conforme pasan los meses, más bicis entran a mantenimiento y unas ya no pueden arreglarse, lo que frenará el crecimiento del sistema. De esta forma nos dice que, con el tiempo, el sistema podría quedarse estable cerca de una cifra máxima de bicicletas. El hecho de que algunas bicis se retiren por no tener arreglo funciona como algo que pone freno e impide que el número de bicicletas crezca sin límite.

Aunque durante el periodo de simulación aun no se alcanza a ver claramente ese equilibrio, la tendencia que nos enseñan los gráficos sugiere que el sistema llegará a estabilizarse según avanza el tiempo.

BICICLETAS MANTENIMIENTO

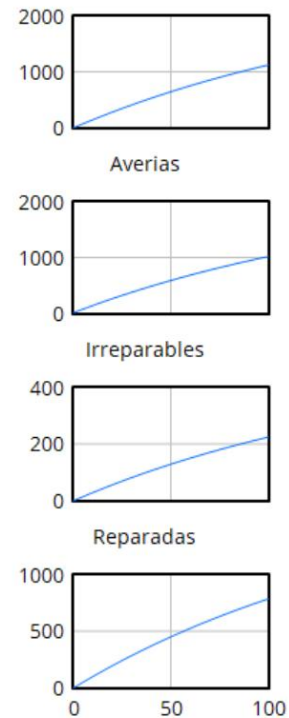


Ilustración 2: Gráficas bicis mantenimiento

BICICLETAS DISPONIBLES

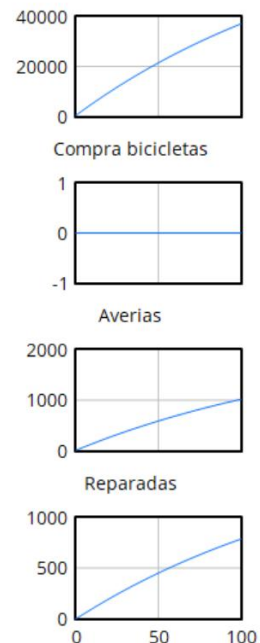


Ilustración 3: Gráfica bicis disponibles



## RESULTADOS Y EVALUACIÓN

MESES	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Bicis disponibles</b>	500	486	483	481	480	479	478	477	476	475	474	473	472
<b>Bicis en mantenimiento</b>	0	14	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
<b>Averías (uso+clima)</b>	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
<b>Reparadas</b>	0	10	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
<b>Irreparables</b>	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Compra de bicicletas</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

*Ilustración 4: Simulación*

Al estudiar como cambia el sistema a lo largo de los doce meses que se simulan, vemos que la cantidad de bicis que se pueden usar baja poco a poco y despacio, pasando de las 500 del inicio a unas 472.

Durante los primeros meses, el sistema empieza con muchas bicicletas listas para usarse. Por esto, las averías que ocurren cada mes son bastante altas, haciendo que el número de bicis en mantenimiento suba. Conforme aumenta esta cantidad, también sube el número de bicis que se reparan cada mes, aunque el 20% se pierda cada mes al no tener arreglo. Justamente esta salida definitiva es lo que impide que el sistema crezca sin parar y permite que se dirija hacia un estado más estable.

A lo largo de toda la simulación, la cantidad de bicicletas que están siendo arregladas se queda alrededor de 17. En ese punto, el sistema sigue un ritmo casi fijo: cada mes ocurren unas 13 averías, se arreglan 12 bicis y se pierde una que ya no sirve. Como resultado, la cantidad de bicis disponibles baja lentamente, como una por mes más o menos.

Un dato importante es que durante los doce meses el número de bicicletas que se pueden usar nunca baja de 400. Esto quiere decir que la regla para comprar bicis nuevas que se definió en el modelo, durante estos 12 meses no llegó a activarse (IF THEN ELSE (Bicicletas\_Disponibles < 400, 10, 0)). Por lo tanto, la compañía no compra bicis externas en este tiempo, y el sistema solo cambia debido a las averías, las reparaciones y las pérdidas definitivas.

Si representáramos la simulación más allá del primer año, llegaría un momento en que las bicis disponibles si caerían por debajo de las 400. Justo ahí se activaría la

compra de 10 bicis cada mes, lo cual cubriría las pérdidas y dejaría que el sistema se asentara en un balance estable.

### Inconveniente surgido y como se ha resuelto

**Inconveniente:** A primera vista podemos observar que el enunciado está bien planteado y estructurado, ya que define de forma clara los niveles principales del sistema, así como los flujos de averías, reparaciones y la compra de nuevas bicicletas. Sin embargo una vez empezamos a plasmarlo en el programa llamado Vensim o incluso en el papel podemos darnos cuenta de una gran limitación que formula el ejercicio.

Al analizar los gráficos que obtenemos tras plasmar el problema en Vensim, se aprecia que el número de bicicletas disponibles y el número de bicicletas en mantenimiento aumenta de forma continua con el paso del tiempo, por lo que el sistema no llega a estabilizarse en ningún momento.

La razón de este comportamiento es que, en el enunciado inicial las bicicletas que se averían pasan a mantenimiento, posteriormente se reparan y vuelven a estar disponibles para su uso. Además el sistema incluye la compra de nuevas bicicletas para mantener el servicio. Sin embargo al crear el enunciado no hemos tenido en cuenta que algunas bicicletas pueden averiarse del todo, quedar inutilizadas, y ser retiradas del sistema.

Como consecuencia de este despiste se produce un ciclo en el que las bicicletas se averían, se reparan, vuelven al sistema, y además se añaden más tras comprar nuevas. Esto provoca que el número total de bicicletas aumente constantemente, sin que exista un límite.

En una situación real, esto provocaría un desmoronamiento del sistema ya que este acabaría saturándose al no eliminar nunca bicicletas del servicio.

**Solución al inconveniente:** Gracias a que nos hemos dado cuenta de este inconveniente, posteriormente añadiremos una salida del nivel llamado bicicletas en mantenimiento, para aquellas bicicletas que son irreparables y tendrán que salir del sistema.

En esta salida se ha introducido una tasa de irreparación del 20%, que representa aquellas bicicletas que han sufrido daños graves y no pueden volver a estar disponibles. Este valor se considera razonable, ya que la mayoría de las bicicletas pueden ser reparadas, pero siempre existe un pequeño porcentaje que se pierde de forma permanente.

## CONCLUSIÓN

Hacer este trabajo ha ayudado a entender como funciona un sistema a lo largo del tiempo y no tiempo y no en un momento específico. Gracias al caso de las bicicletas fue posible notar como varios elementos se afectan mutuamente y de que manera las elecciones tomadas afectan globalmente al servicio.

Al ir haciendo la tarea los primeros resultados no tenían mucho sentido ya que el sistema mostraba un comportamiento poco realista, lo que hizo necesario volver a revisar el sistema para comprobar porque sucedía eso. Una vez corregido este error el sistema ya funcionaba de manera lógica mostrando como el número de bicicletas se estabiliza con el tiempo.

El hecho de que el enunciado creado tuviera un error al principio ha ayudado a entender mejor como funciona el sistema. En conclusión este trabajo, ha permitido aplicar los contenidos vistos en clase durante estos cuatro meses, y demostrando la utilidad de la teoría de sistemas para analizar situaciones cercanas a la realidad

## BIBLIOGRAFÍA

- *Origen de la dinámica de sistemas*. (2024). System Dynamics Society.  
<https://systemdynamics.org/origin-of-system-dynamics/>