

# Modelación matemática

Gerardo Martín

2021-08-03



# Contents

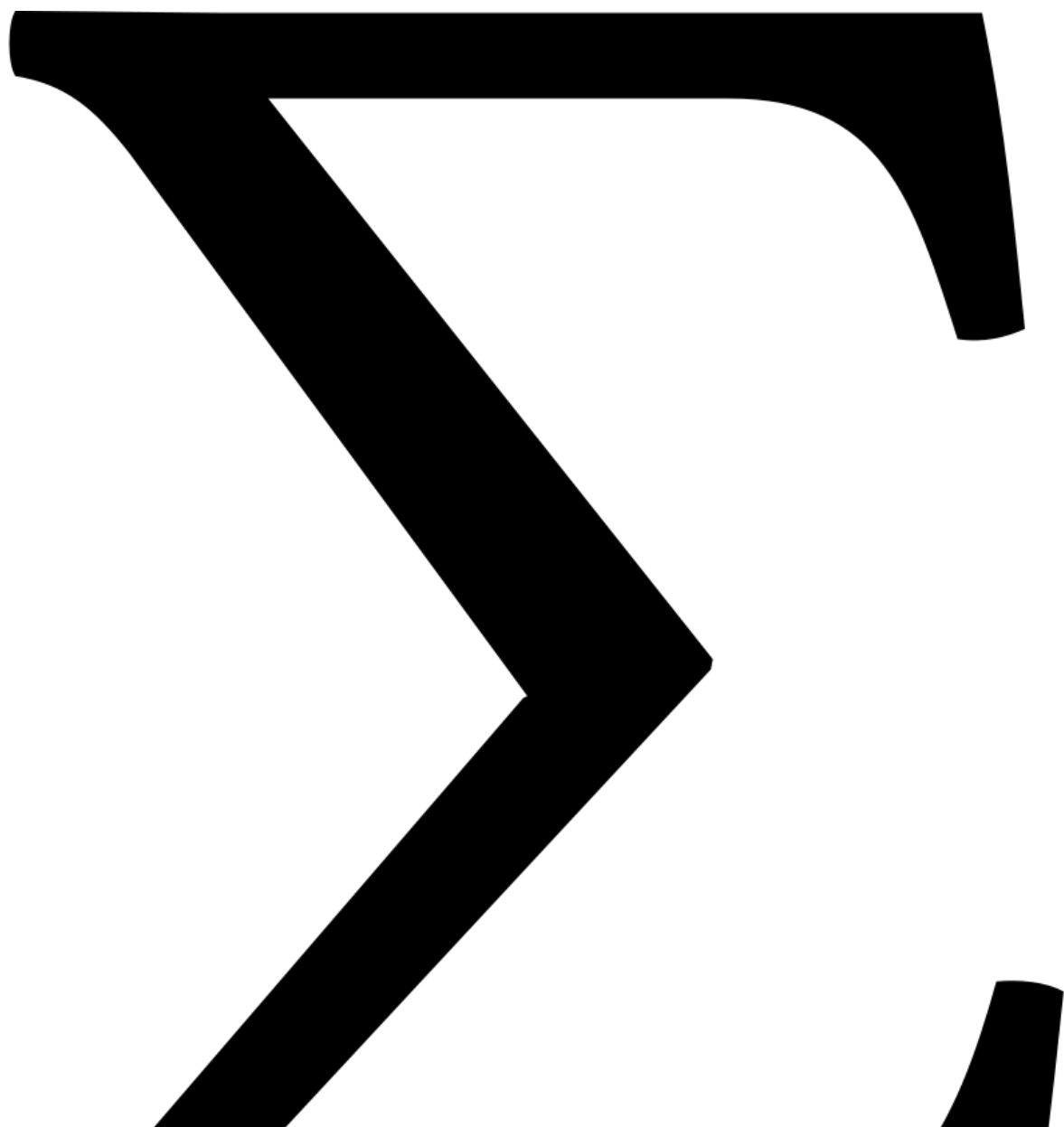
<b>1</b>	<b>Preámbulo</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Criterios de evaluación</b>	<b>9</b>
2.1	¿Cómo se darán las clases?	9
2.2	Reglas del salón	10
2.3	Contacto	10
<b>3</b>	<b>Unidad I: Modelos determinísticos</b>	<b>11</b>
3.1	Introducción a la modelación	11
3.2	Funciones básicas y su representación en el plano cartesiano	13
3.3	Funciones complementarias y su representación en dos y tres dimensiones	22
3.4	La línea recta como modelo “universal”	22
3.5	Modelación de sistemas sociales y ambientales	22
<b>4</b>	<b>Methods</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>Applications</b>	<b>25</b>
5.1	Example one	25
5.2	Example two	25





## Chapter 1

# Preámbulo



En el curso **Modelación matemática** aprenderemos a utilizar algunas herramientas matemáticas para analizar y entender los procesos de interés en ciencias ambientales. Los contenidos del índice se apegan al programa completo del curso, el cual se impartirá en los horarios normales establecidos. Para conocer cuándo, cómo y qué temas se se impartirán puedes consultar la estrategia docente.





## Chapter 2

# Criterios de evaluación

Las contribuciones a cada calificación parcial serán:

- Asistencia (25%)
- Trabajos de clase cumplidos (50%)
- Examen (25%)
- Participación (2 puntos extra máximo)

Cabe señalar, que la asistencia no corresponderá con su presencia en las sesiones sincrónicas, sino con el cumplimiento de los trabajos de clase. La participación se medirá tanto por participación directa en las sesiones sincrónicas como por el seguimiento que uds den a la clase por correo electrónico.

### 2.1 ¿Cómo se darán las clases?

Trataré de apegarnos a los tiempos de actividades sincrónicas y asincrónicas establecidos en la estrategia docente, pero éstos son completamente flexibles. Una estrategia que me ha funcionado en cursos anteriores ha sido la de dedicar la última actividad sincrónica de la semana a resolver dudas, es en estas sesiones en las que hay muchas posibilidades de conseguir puntos de participación.

Todos los contenidos del curso, lecturas y presentaciones, se irán añadiendo a este sitio web conforme avanza el semestre. En el Google Classroom de la materia se irán anunciando las diferentes actividades y sesiones sincrónicas con anticipación suficiente. Igualmente, los exámenes y resultados serán publicados a través de esta plataforma. A petición de uds, también se publicarán aquí los videos de las sesiones sincrónicas que tengamos, en especial para aquellos temas que sean mayor interés/dificultad/importancia. Los trabajos de práctica también se publicarán en Classroom.

## 2.2 Reglas del salón

Estas, obviamente, son particulares del modelo en línea, por lo tanto aquí van las reglas de zoom:

1. Micrófonos apagados
2. Cámaras prendidas, exceptuando: 2.1. Si su velocidad de internet lo dificulta 2.2. Si tienen datos limitados
3. Hacer muchas preguntas
4. Decirme si paso algo por alto

## 2.3 Contacto

Para reportar fallos, resolver dudas y peticiones especiales grupales o individuales por favor enviar correo electrónico a [gerardo.mmc@enesmerida.unam.mx](mailto:gerardo.mmc@enesmerida.unam.mx).

## Chapter 3

# Unidad I: Modelos determinísticos

### 3.1 Introducción a la modelación

Imaginemos a seis personas invidentes, con la tarea de encontrar qué es el objeto que está frente a ellas usando únicamente el tacto. En la parábola de los seis hombres ciegos, el objeto es un elefante, de modo que la imagen que cada uno de ellos se forma del objeto depende enteramente de la parte del elefante que están tocando.

Quien toque los colmillos podrá pensar que se trata de una lanza, la trompa podría tratarse de una serpiente, la cola de una cuerda, las patas troncos de árbol y el cuerpo una pared. Es evidente que todas las hipótesis presentadas después de la inspección fueron erróneas, y que cuando estudiamos al mundo lo haremos igual, con la descripción de tan sólo una fracción de éste. Un séptimo hombre que pregunte a los otros seis qué fue lo que vieron podría formarse una imagen más completa del *sistema* para proponer otra hipótesis: se trata de un objeto grande reposando sobre cuatro columnas con apéndices adelante y atrás.

Al estudiar los sistemas ecológicos, al igual que los ciegos, no sabremos que estamos frente a un elefante. Los sistemas ecológicos, al igual que los elefantes, también tienen componentes interconectados, y nosotros los ecólogos somos como los hombres ciegos, sólo podemos observar ciertas partes de los ecosistemas. En nuestro trabajo entonces, aprender a identificar y proponer hipótesis sobre cómo funcionan los sistemas ecológicos.

Las hipótesis propuestas por los seis hombres representan modelos, es decir simplificaciones del mundo que nos ayudan a entenderlo. Los modelos matemáticos son simplificaciones formales del mundo utilizando otro lenguaje, las matemáticas.



Figure 3.1: La parábola de los seis hombres ciegos inspeccionando un elefante.

## 3.2 Funciones básicas y su representación en el plano cartesiano

### 3.2.1 La línea recta

Una línea recta se puede representar matemáticamente de varias maneras, la más común de ellas es por medio de una función. Una función, en cambio es una expresión matemática que indica una serie de operaciones (aritméticas por ejemplo), que serán aplicadas a un conjunto de números en sucesión (los números reales, p. ej.) para producir otro conjunto. Así la, función lineal más sencilla puede ser:

$$y(x) = x \quad (3.1)$$

Lo que quiere decir que  $y$  es una función de  $x$ , y cada valor de  $y$  será igual a cada valor de  $x$ . En lenguaje matemático, el conjunto de números de  $x$  se llama el dominio, y  $y(x)$  el codominio. Algunas funciones lineales más complejas son:

$$y(x) = ax \quad (3.2)$$

donde  $a$  es una constante, lo que quiere decir que cada valor de  $y(x)$  será producido por el producto  $a \times x$ . Finalmente, la expresión más común de una ecuación lineal es:

$$y(x) = b + ax \quad (3.3)$$

donde  $b$  también es una constante que se llama intercepto, y  $a$  es la pendiente, pues esta última determina la inclinación de la línea recta representada en el plano cartesiano.

#### 3.2.1.1 Representaciones gráficas de la recta

Comencemos por dar un repaso del plano cartesiano. Este consiste de la representación de dos conjuntos de números reales en los que representamos una función, como una regla de correspondencia entre los valores de cada conjunto, de modo que a cada valor de  $x$  corresponde uno y sólo uno de los valores de  $y$ . Cada conjunto se puede representar como una recta, y cuando éstas se disponen perpendiculares dan origen al plano.

Ahora veamos, con un ejemplo gráfico por qué la constante  $a$  recibe el nombre de *pendiente*.

Como podemos ver, de manera más general, la línea recta es generada por una regla de correspondencia muy sencilla, un conjunto de valores  $X$  son multiplicados por un escalar  $a$ , a los que se les puede añadir un *intercepto*  $b$ . El intercepto siempre es el valor de  $y(x)$  cuando  $x = 0$ .

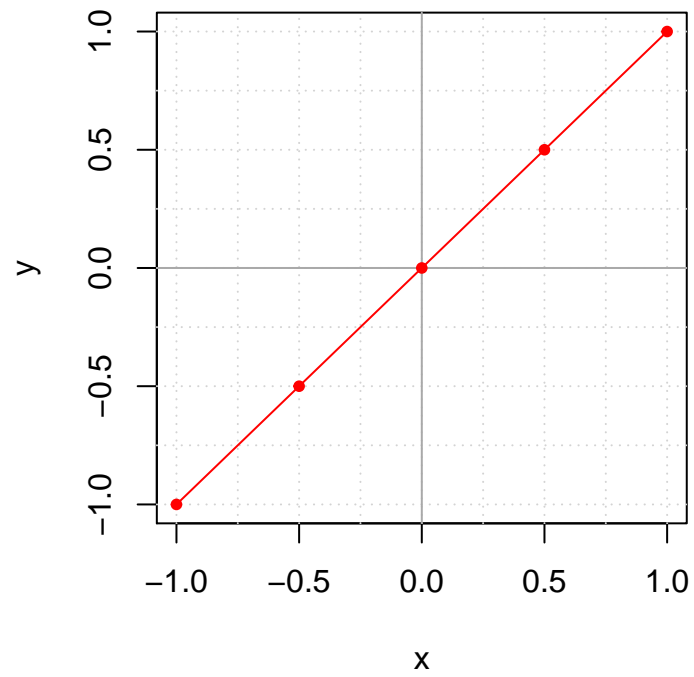


Figure 3.2: Ejemplo del plano cartesiado mostrando en rojo la correspondencia de valores para  $y(x) = x$ , donde los puntos corresponden a los pares de valores  $(x = -1, y = -1), (-0.5, -0.5), (0, 0), (0.5, 0.5), (1, 1)$ .

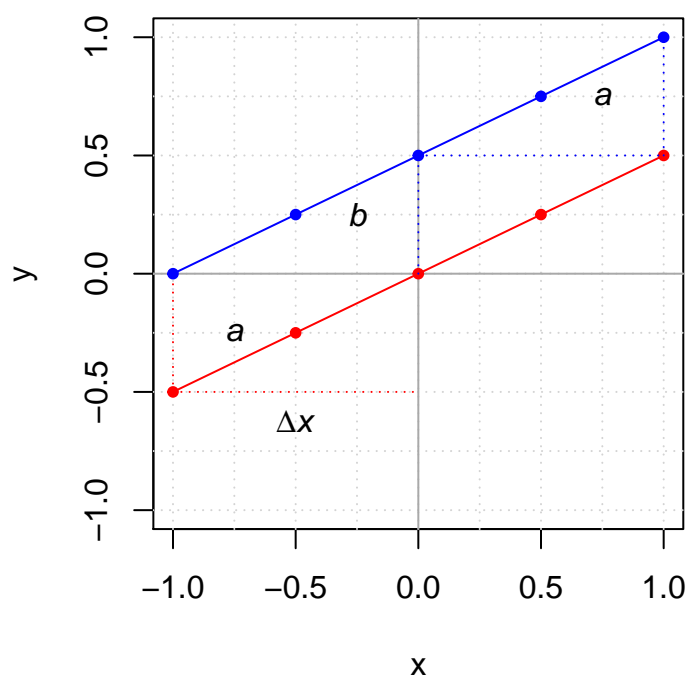


Figure 3.3: Gráficas de las funciones  $y(x) = 0.5x$  (en rojo) y  $y(x) = 0.5 + 0.5x$  (azul). Las líneas punteadas en colores indican el efecto de las constantes  $a$  y  $b$ , mientras que  $\Delta x$  denota el cambio de una unidad de  $x$ .

Ya se podrán imaginar que puede existir un sinnúmero de modelos lineales distintos, por ejemplo si  $y$  es una función de un gran número de conjuntos  $X$ :

$$y(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n) = b + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_{n-1}x_{n-1} + a_nx_n \quad (3.4)$$

Gráficamente, estamos prácticamente limitados a explorar  $y(x_1, x_2)$ , pero existen muchas herramientas matemáticas para entender modelos lineales más complejos que veremos más adelante. Estas herramientas y las implicaciones generales de la simplicidad del modelo lineal lo hacen uno de los modelos más útiles con que contamos para estudiar matemáticamente fenómenos dinámicos (que cambian de estado a lo largo del tiempo), como para estudiarlos de manera probabilística (con estadística). De hecho, el modelo lineal nos puede servir para entender modelos, como la parábola y el exponencial, que geoméricamente no se parecen a la línea recta.

### 3.2.2 La parábola

Geoméricamente, la parábola es muy distinta de la recta:

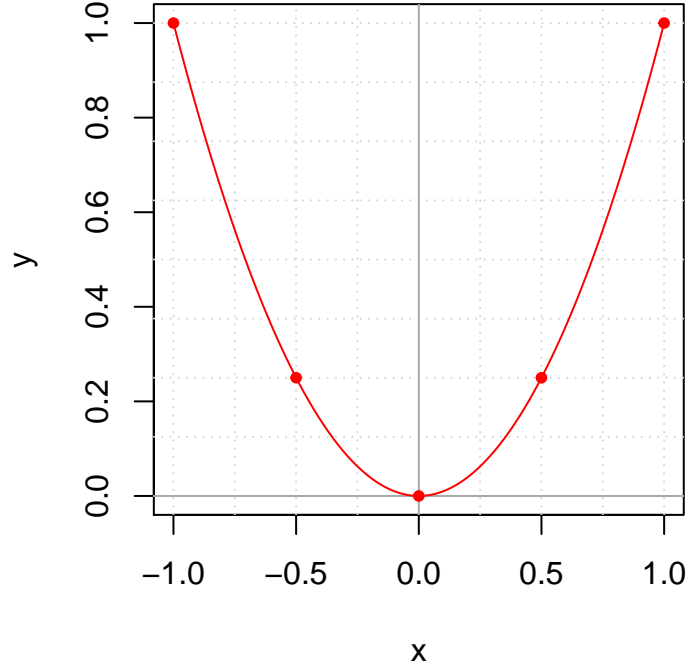


Figure 3.4: Ejemplo del plano cartesiado mostrando en rojo la correspondencia de valores para  $y(x) = x^2$ , donde los puntos corresponden a los pares de valores  $(x = -1, y = 1), (-0.5, 0.25), (0, 0), (0.5, 0.25), (1, 1)$ .



### 3.2. FUNCIONES BÁSICAS Y SU REPRESENTACIÓN EN EL PLANO CARTESIANO17

La función matemática más sencilla que puede describir esta forma en el plano cartesiano es:

$$y(x) = x^2 \quad (3.5)$$

Al igual que con los modelos lineales, las parábolas pueden representarse matemáticamente de otras formas más complejas:

- $y(x) = a + bx + cx^2$
- $y(x) = a + cx^2$
- $y(x) = -x^2$

Si uno es observador, se dará cuenta de que estas ecuaciones son muy similares a la recta, y es que es posible considerar que  $x^2$  se puede considerar como otro conjunto tal que  $x' = x^2$ , resultando así en funciones perfectamente lineales:

- $y(x) = a + bx + cx'$
- $y(x) = a + cx'$
- $y(x) = -x'$

Entonces, lo que realmente distingue matemáticamente a una parábola de una recta, es la doble ocurrencia de cada valor de  $y$  para los distintos valores de  $x$ :

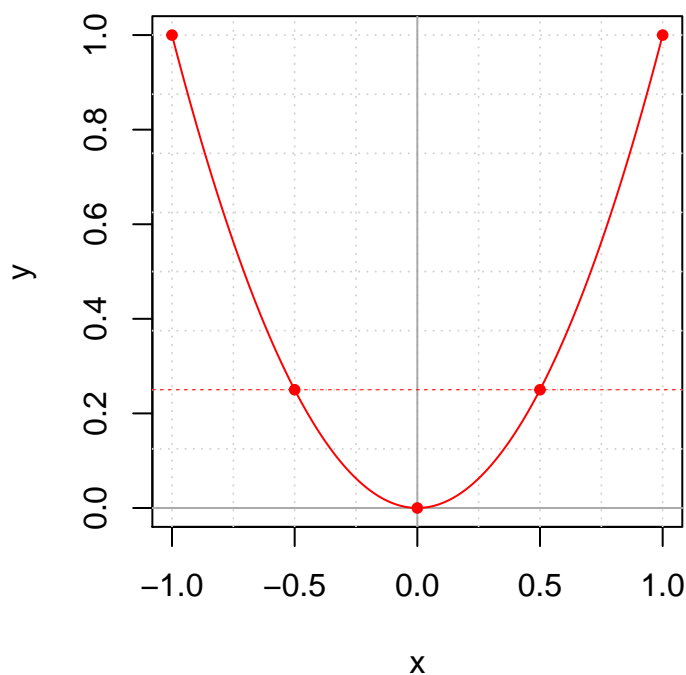


Figure 3.5: Correspondencia de dos valores distintos de  $x$  para el mismo valor de  $y$

Cuando esto ocurre, las funciones tiene un solo punto a lo largo de todos los valores de  $x$ , donde sólo va a ocurrir un valor único de  $y$ . A estos puntos se les conocen como mínimos (par de valores con coordenadas  $(0,0)$  en la figura 3.5). Los máximos, en cambio están ilustrados en la figura 3.6, e igual corresponde al punto con coordenadas  $(0,0)$ .

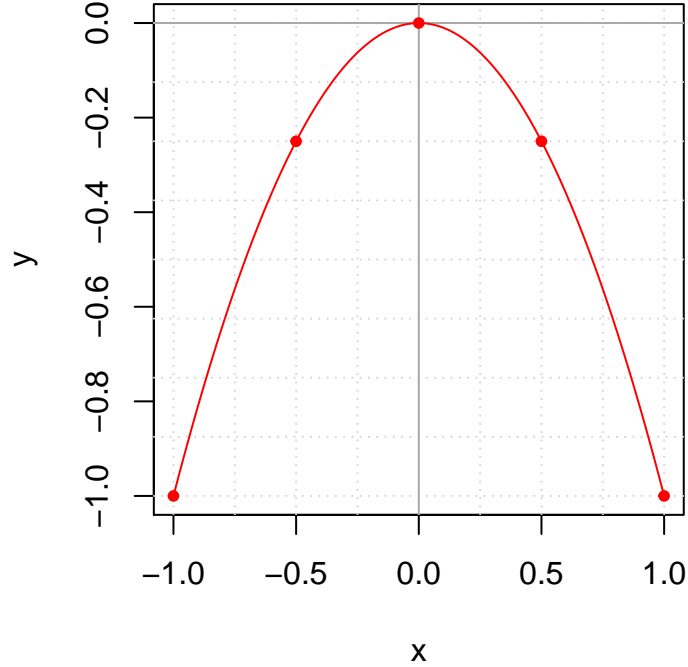


Figure 3.6: Correspondencia de valores para  $y = -x^2$ .

En los modelos parabólicos más sencillos ( $y(x) = x^2, y(x) = -x^2$ ), los puntos mínimos y máximos siempre estarán en las coordenadas  $(x = 0, y = 0)$ , pero es posible alterarlos. Por ejemplo en  $y(x) = 2 + x^2$ , el mínimo estará en  $(x = 0, y = 2)$ . Para verificarlo resuelve  $y(x) = 2 + x^2$  para  $y(0)$ , sustituyendo  $x$  por 0.

### 3.2.2.1 Ejercicio

A estas alturas, ya te podrás haber dado cuenta de ciertas propiedades de las parábolas, contesta las siguientes preguntas:

1. ¿Qué tipo de punto único (mínimo o máximo) habrá en las siguientes parábolas?

1.1.  $y(x) = 2 - x^2$  1.2.  $y(x) = 2x - 2x^2$  1.3.  $y(x) = 1 - x + 3x^2$  1.4.  $y(x) = x/2 - 4x^2/x$  1.5.  $y(x) = (5x)^2 - 3x + 1$

### 3.2.3 Cónicas

De manera muy general, una cónica es el conjunto de soluciones para una ecuación cuadrática cuando menos en dos variables. En este sentido, las parábolas, vistas en la sección anterior, son un tipo de cónica. Ejemplos:

1.  $x^2 + y^2 = -1$
2.  $x^2 + y^2 = 0$
3.  $x^2 - y^2 = 0$
4.  $xy - 1 = 0$
5.  $x^2 - y = 0$

Debido a la generalidad de la definición de *cónicas*, las ecuaciones 1-5 tienen una variedad de formas muy distintas, en comparación con las secciones de rectas y parábolas (Figura 3.7). La mayoría de estas formas surgen como solución a la intersección de un plano bidimensional con una línea rotando sobre un eje definido dentro de ella en un espacio tridimensional (ver ejemplo)

### 3.2.4 La curva normal

En el curso de probabilidad y estadística, se acordarán, se mencionó repetidamente a la distribución normal. En cuestión de matemáticas, la distribución normal puede ser representada como una ecuación:

$$y(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.6)$$

donde  $\mu$  es la media aritmética,  $\sigma^2$  es la varianza y  $x$  son todos los valores de la variable que observamos. Cuando tenemos datos de un experimento y los analizamos haciendo el cálculo del promedio estimamos justamente a  $\mu$  de la ecuación (3.6), y al estimar la varianza obtenemos a  $\sigma^2$  de la misma ecuación. Como es importante notar, al hacer estos cálculos estamos asumiendo que nuestros datos tienen una distribución (un histograma) que puede ser descrita por la ecuación (3.6).

Como vimos en la sección de parábolas, las funciones que no son monótonas (los valores de  $y$  no aumentan o disminuyen a lo largo de  $x$ ), tienen un punto máximo o mínimo. La curva normal, tiene propiedades similares, aunque debido a la presencia de la función exponencial ( $e^{\dots}$ ), los valores de  $y(x)$  **siempre serán positivos**. Por lo tanto, la curva normal tiene un punto máximo que corresponde a  $y(\mu)$ , o sea,  $y$  alcanza su punto máximo cuando  $x = \mu$  (Figura 3.8).

En estadística, esta función representa en el eje de las  $y$  la *densidad* de la variable  $x$ . Densidad se refiere a la proporción de observaciones de  $x$  dentro de un intervalo definido de  $x$ . Por lo tanto, la curva normal, representa la probabilidad de observar ese valor de  $x$ , de ahí que  $\mu$  sea el valor teórico más probable. En lo que respecta a  $\sigma^2$ , éste representa qué tan concentrados estarán los valores

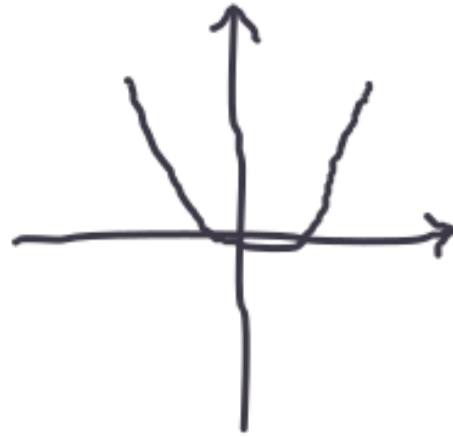


Figure 3.7: Representación gráfica de las ecuaciones 1-5.

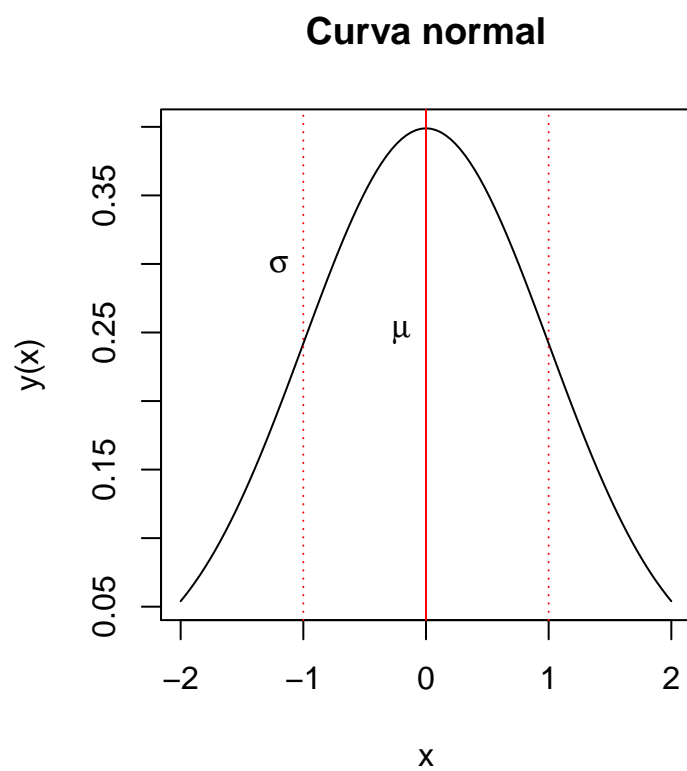


Figure 3.8: Representación gráfica de la curva normal.

de  $x$  alrededor de  $\mu$ . Altos valores de  $\sigma$  se traducirán en baja concentración alrededor de  $\mu$  (Figura 3.9).

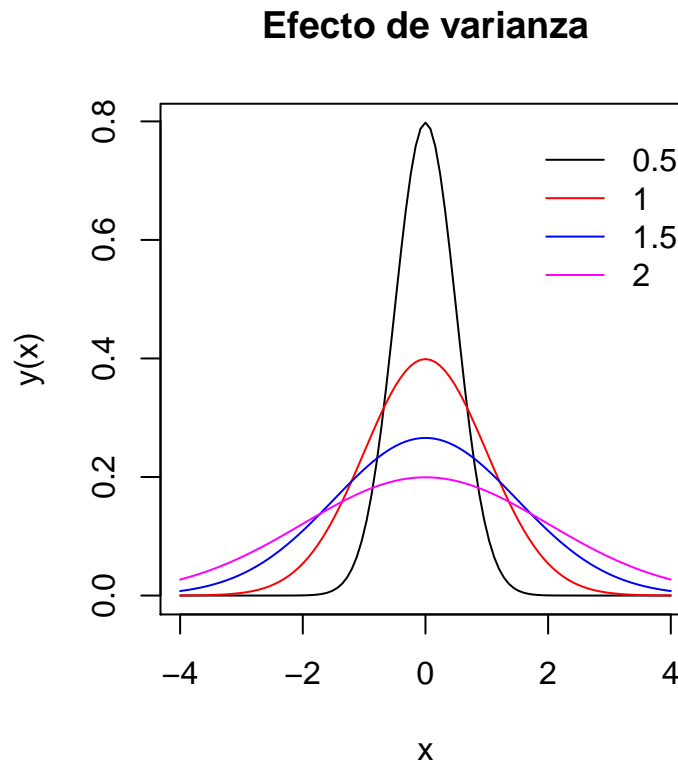


Figure 3.9: Efecto de la varianza sobre la la dispersión alrededor de la media.

### 3.3 Funciones complementarias y su representación en dos y tres dimensiones

### 3.4 La línea recta como modelo “universal”

### 3.5 Modelación de sistemas sociales y ambientales

## Chapter 4

# Methods

We describe our methods in this chapter.





## Chapter 5

# Applications

Some *significant* applications are demonstrated in this chapter.

### 5.1 Example one

### 5.2 Example two