

Visión Artificial

Tema 4. Fuentes y tipos de ruido

Índice

Esquema

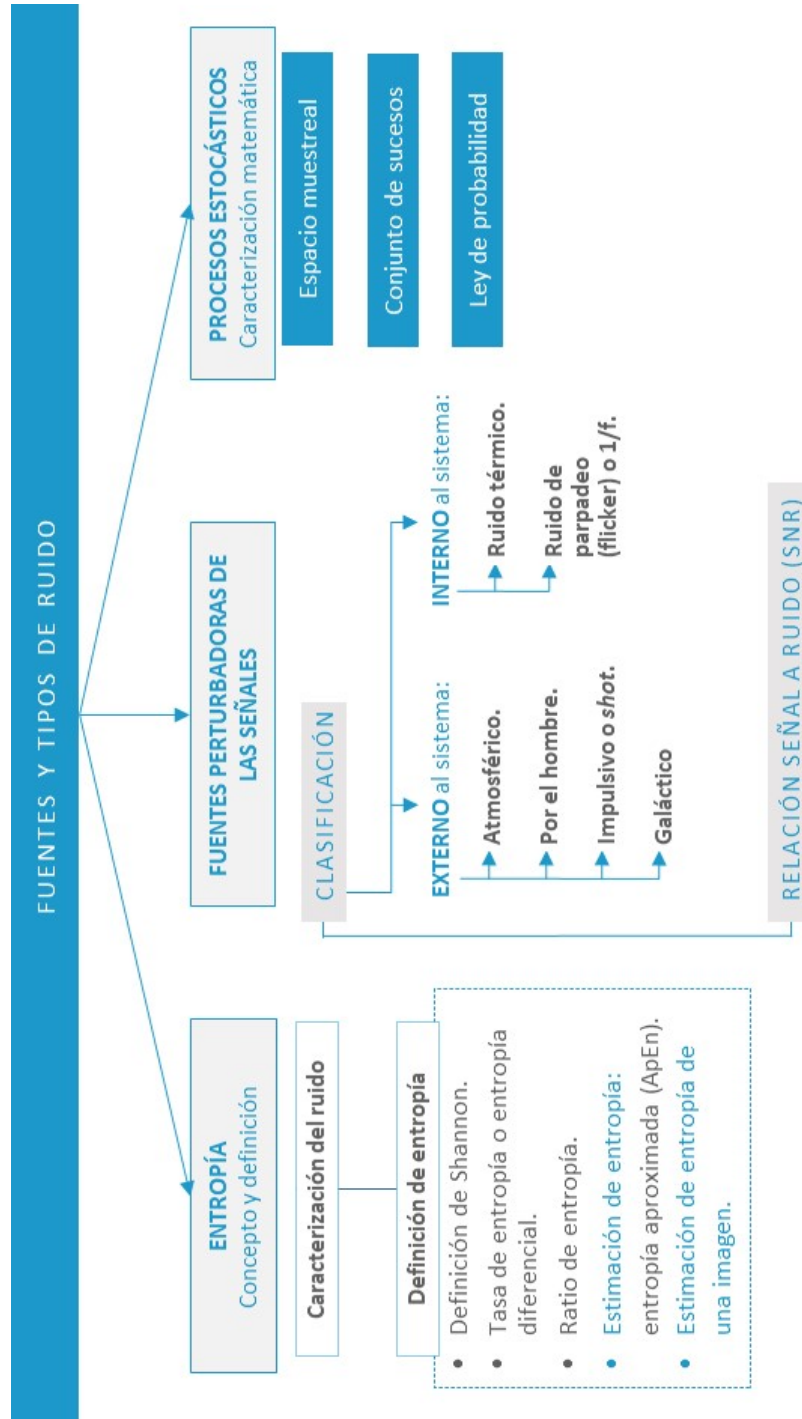
Ideas clave

- 4.1. ¿Cómo estudiar este tema?
- 4.2. Entropía: concepto y estimación
- 4.3. Fuentes perturbadoras de las señales
- 4.4. Caracterización matemática del ruido: procesos estocásticos

A fondo

- ¿Qué es la señal y el ruido?
- Signal-to-noise Ratio (SNR)
- Bibliografía

Test



4.1. ¿Cómo estudiar este tema?

Para estudiar este tema deberás leer con atención las ideas clave que se desarrollan a continuación.

En el siguiente tema se analiza el **componente aleatorio de las señales**. Como veremos, toda señal estará afectada por algún tipo de perturbación o ruido en un escenario real. El conocimiento de los diferentes tipos de ruido nos permitirá poder diseñar técnicas adecuadas para su eliminación completa o parcial, reduciendo su efecto en la fuente de información.

Con este objetivo, en el tema se presenta, en primer lugar, el concepto de **entropía**. Este hace referencia al grado de incertidumbre e irregularidad en la señal, de forma que nos permite cuantificar el impacto del ruido. Posteriormente, se describen los diferentes **tipos** de ruido. Y finalmente, se presentan las herramientas matemáticas que permiten su modelado: los **procesos estocásticos**.

4.2. Entropía: concepto y estimación

El **ruido** es toda señal no deseada y de naturaleza aleatoria que modifica la intensidad de la señal original a percibir.

En los sistemas de captación de estímulos, como luz o sonido, en primer lugar se lleva a cabo la transformación de estos a señales eléctricas mediante sensores. Por ejemplo, considérese el micrófono o la cámara fotográfica, que captan el sonido o la luz y los convierten en una señal eléctrica de naturaleza analógica o digital. Posteriormente, estas señales pueden almacenarse en memorias o ser transmitidas por medio de un sistema de comunicación.

Caracterización del ruido

En el mundo real, cualquier señal estará afectada por elementos incontrolables que generen ruido. Generalmente, este se superpone a la señal de interés en forma de **ruido aditivo**. Es decir, nuestra imagen o señal acústica recibida tendrá la siguiente forma:

$$S(t) = f(t) + r(t)$$

Donde:

- ▶ S denota la señal recibida.
- ▶ f denota la señal original.
- ▶ r denota el componente de ruido.

Por tanto, la primera etapa en el tratamiento de una señal debe centrarse en la **identificación y eliminación** del mayor número de artefactos ruidosos posible; en la mayoría de los casos no será viable eliminarlos por completo de la señal capturada.

La **caracterización matemática** del ruido permite abordar el problema de forma analítica. Como se verá más adelante en este tema, las señales que manejamos en la vida real incluyen cierto nivel de ruido, por lo que pueden verse como el resultado de un proceso aleatorio, tal y como sucede cuando lanzamos un dado. La naturaleza aleatoria del ruido provoca que la medición de una misma señal no produzca siempre el mismo resultado.

No estamos ante señales deterministas sino aleatorias: procesos estocásticos.

Como ejemplo, puede considerarse el escenario en el que se capta una señal sonora. En este caso, el resultado de la medición variará dependiendo del nivel de intensidad de otras fuentes sonoras sobre las que no tengamos control (ruido de ambiente).

Definición de entropía

Como se ha comentado anteriormente, las señales contienen información y, además, están afectadas por diferentes fuentes de ruido. En este contexto, surge el concepto de entropía. Al igual que en física, el término hace referencia a la **complejidad de la señal**. La adición de ruido contribuye a incrementar el grado de complejidad de una señal, resultando en una mayor entropía.

En teoría de la información, la entropía se define como la cantidad de información de una fuente aleatoria (en promedio). Por tanto, el concepto de entropía sirve para caracterizar una **variable aleatoria**. En el caso de las señales, estas pueden modelarse como una sucesión de realizaciones de una variable aleatoria en el tiempo (proceso estocástico), por lo que veremos cómo extender la definición de entropía a elementos aleatorios de esta naturaleza.

Dada una variable aleatoria discreta X , que toma valores del conjunto $\{X_1, X_2, \dots, X_M\}$ y de acuerdo a una probabilidad $P(X_i)$, **Shannon** definió la entropía de la siguiente forma:

$$H(X) = E\{-\log_2 [P(X)]\} = \sum_{i=1}^M -\log_2 [P(X_i)] P(X_i)$$

Donde $-\log_2 [P(X_i)]$ se interpreta como la cantidad de información.

Así, valores poco probables de la variable X están asociados con una mayor cantidad de información (efecto sorpresa) frente a valores de mayor probabilidad.

En el caso de que la variable X posea únicamente dos posibles resultados, $\{X_1, X_2\}$, es decir, cuando se trata de una variable caracterizada por una distribución de Bernoulli, puede observarse como la entropía de X , en función de la probabilidad $P(X = X_1)$, alcanza su máximo cuando esta es 0.5. En este caso, ambos sucesos poseen la misma probabilidad y en promedio obtendremos siempre la misma cantidad de información de X .

El siguiente gráfico muestra la variación de la entropía de X como función de la probabilidad asociada al suceso X_1 .

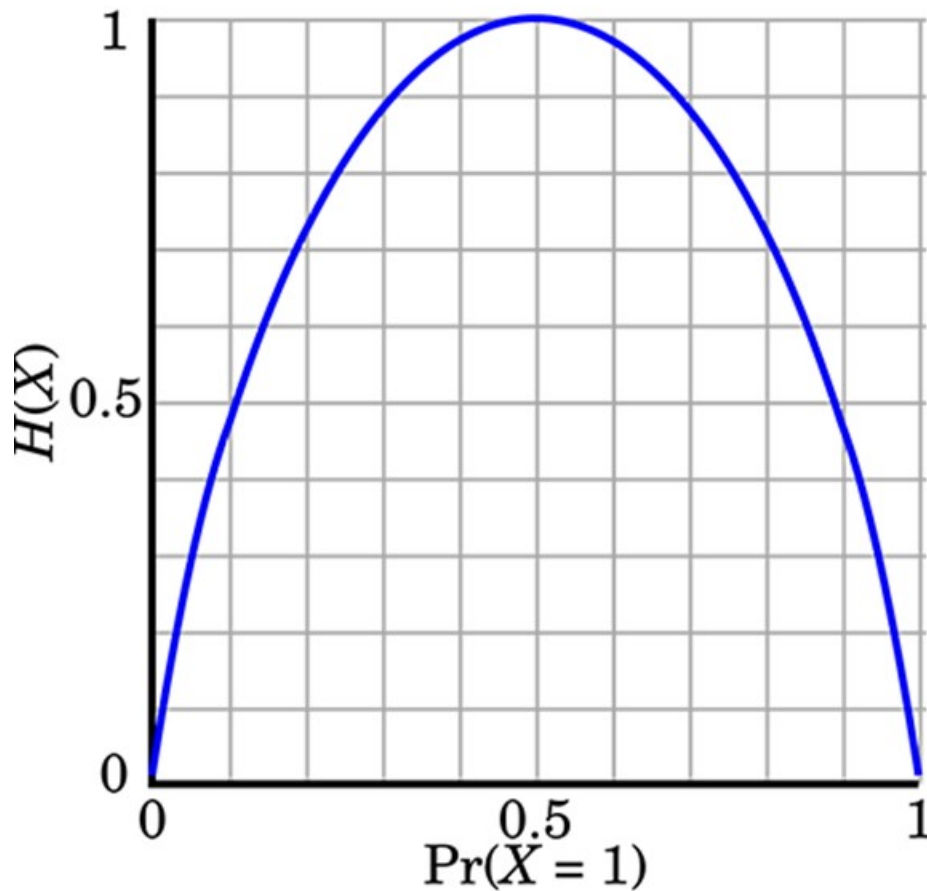


Figura 1. Dependencia de la entropía con la probabilidad de observación del suceso X_1 para una variable aleatoria X con una distribución de Bernoulli. Fuente:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Entrop%C3%ADa_\(informaci%C3%B3n\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Entrop%C3%ADa_(informaci%C3%B3n))

Las señales pueden modelarse, desde un punto de vista matemático, como un conjunto de variables aleatorias (proceso estocástico). Por ejemplo: una señal de voz de una duración determinada puede verse como una serie temporal finita, de forma que cada una de sus muestras representa la realización de una variable aleatoria.

La inclusión de nuevas muestras en la serie contribuirá a aumentar el contenido de información en esta, lo que muestra la dependencia de la entropía del proceso con la longitud de este. Por tanto, tiene sentido medir la variación de la entropía de la señal debida a la inclusión de una nueva muestra, hablamos de la **tasa de entropía o entropía diferencial**.

Considérese una señal de longitud N dada por $x = x_1, x_2, \dots, x_N$ y compuesta por la secuencia de la realización de N variables aleatorias. La entropía del proceso estocástico viene dada por:

$$H_N = E - \log_2 [p(x_1, x_2, \dots, x_N)]$$

$$= - \int_{-\infty}^{\infty} \log_2 [p(x_1, x_2, \dots, x_N)] p(x_1, x_2, \dots, x_N) dx_1 \dots dx_N$$

Donde $p(x_1, x_2, \dots, x_N)$ es la función de densidad de probabilidad conjunta de las variables que componen el proceso estocástico.

A partir de esta expresión, el **ratio de entropía**, o simplemente entropía, de la señal se define de la siguiente forma:

$$E_N = \lim_{N \rightarrow \infty} H_{N+1} - H_N$$

Existen diferentes métodos para la estimación de la entropía de una señal. En este caso, propondremos la **entropía aproximada (ApEn)** como procedimiento de estimación.

Este algoritmo consiste en estimar la entropía de subseries de longitud m y $m+1$, de forma que la diferencia de ambas estimaciones proporciona el valor final de entropía. A continuación, se describe cómo obtener la estimación de la entropía para subseries de **longitud** m . El mismo procedimiento se aplicaría para longitud $m + 1$.

Para nuestra serie original $x = [x_1, x_2, \dots, x_N]$:

- ▶ Se extraen todas las subseries de longitud m representadas por $x_i^{(m)}$.
- ▶ Posteriormente, se define una tolerancia r que permite identificar el número $N^{(m)}(i)$ de las subseries $x_j^{(m)}$ que se asemejan a $x_i^{(m)}$, de acuerdo a una métrica de la distancia entre ambas $d[x_i^{(m)}, x_j^{(m)}] \leq r$.
- ▶ Por tanto, la probabilidad de encontrar en la serie original una subserie similar a $x_i^{(m)}$ viene dada por la siguiente expresión:

$$C^{(m)}(i) = N^{(m)}(i) / (N - m + 1)$$

Donde $N - m + 1$ es el número total de subseries de longitud m que podemos encontrar en la serie original.

El término $C^{(m)}(i)$ proporciona una estimación discreta de la función de densidad de probabilidad $f(x^{(m)})$. Esta puede emplearse para aproximar la entropía de la variable aleatoria $x^{(m)}$, que vendrá dada por el promedio de la cantidad de información de esta fuente aleatoria, empleando la definición de entropía de Shannon. Así, la entropía de los procesos representados por $x^{(m)}$ se calcula como:

$$H_N^{(m)} = -1 / (N - m + 1) \sum_{i=1}^{N-m+1} C^{(m)}(i)$$

El **ratio de entropía de la serie** (proceso estocástico) inicial, es decir, el incremento de entropía por la inclusión de una nueva muestra se obtiene como:

$$E_N = H_N^{(m+1)} - H_N^{(m)}$$

El valor de la entropía de una señal puede interpretarse como el grado de incertidumbre de la misma. De forma equivalente, refleja la capacidad para predecir un estado o valor posterior a partir del conocimiento u observación de los valores que previamente ha tomado la señal. Un mayor valor de entropía reflejará, por tanto, mayor complejidad y caos en la señal bajo estudio.

Como resultado, la entropía nos da una idea del nivel de impacto del ruido en una señal.

Si tomamos una muestra de una misma señal en las mismas condiciones pero en instantes de tiempo diferentes, la señal con mayor entropía será aquella con un mayor nivel de ruido.

Hasta ahora, se ha presentado el concepto de entropía tomando como contexto la influencia del ruido en una señal, y se ha descrito cómo estimar su valor en **series temporales, señales** dependientes de la variable tiempo de una única dimensión.

La naturaleza y el modelado matemático de las **imágenes** son diferentes al de este tipo de señales. Una imagen no lleva implícita la variable tiempo, como sí ocurre en una señal de voz o un electrocardiograma, sino que representa la **luz capturada** en cada posición del espacio. Además, la información de una imagen se representa en dos dimensiones.

Por tanto, en imágenes, de la misma forma que en series se caracterizó el ratio de incremento de la entropía respecto a nuevas muestras, podría pensarse en un ratio de entropía respecto a la unidad de área representada. Para la **estimación de la entropía en una imagen** se toma el histograma de los niveles de intensidad de esta. La estimación final se obtiene como la entropía de la variable aleatoria caracterizada por dicho histograma.

Al igual que sucedía en señales unidimensionales, la entropía tenderá a incrementarse, o al menos permanecerá igual, si el área de la imagen considerada para la estimación se amplía. Así, menores valores de entropía se asociarán con patrones repetitivos en la imagen que conduzcan a un histograma con picos marcados (textura). En cambio, la entropía aumenta si existe una mayor variabilidad en los valores de intensidad observados en la imagen, no hay patrones marcados que produzcan un histograma más plano. En este sentido, se deduce que el ruido contribuye a aumentar la entropía de la imagen, ya que provoca que la variabilidad de los niveles de intensidad observados aumente.

4.3. Fuentes perturbadoras de las señales

Clasificación de los tipos de ruido

Las señales eléctricas se ven afectadas por diferentes tipos de ruido:

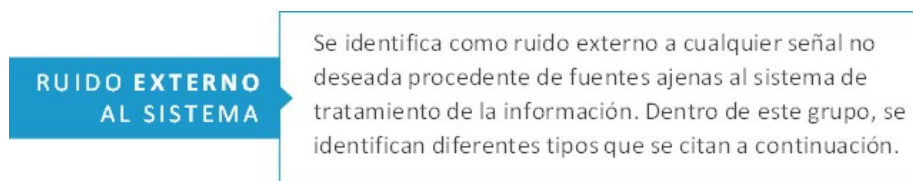


Figura 2. Definición de ruido externo al sistema.

Ruido atmosférico

El ruido atmosférico viene dado por las señales eléctricas derivadas de las descargas naturales que tienen lugar bajo la ionosfera. Las tormentas o las cargas eléctricas de las nubes son fuentes de este tipo de ruido que, generalmente, afecta en mayor medida a sistemas de comunicaciones que utilizan el espectro radioeléctrico como canal.

Aproximadamente, **la potencia del ruido atmosférico es inversamente proporcional a la frecuencia**. Así, el ruido atmosférico tiene mayor impacto en bandas de baja y media frecuencia, mientras que el ruido de menor potencia afecta a las bandas VHF y UHF. Como resultado, el ruido atmosférico afecta a la banda de comunicaciones AM y decrece significativamente en frecuencias de TV y FM. Más allá de los 30 MHz, el ruido atmosférico tiene menor impacto negativo que el propio ruido del receptor.

Producido por el hombre

Se refiere a los artefactos eléctricos generados por fuentes como automóviles, motores eléctricos, interruptores, líneas de alto voltaje... Se conoce también como

ruido industrial. La intensidad de estas señales ruidosas cobra mayor magnitud en grandes núcleos urbanos y zonas industriales. En estas áreas, el ruido de esta naturaleza prevalece sobre otras fuentes de ruido en el rango de frecuencias entre 1 MHz y 600 MHz.

Ruido impulsivo o *shot*

Este tipo de ruido origina la aparición de valores anómalos (*outliers*) en la señal. Se caracteriza por un aumento brusco de la intensidad durante un corto periodo de tiempo. Por lo general, su origen es un agente externo al sistema de información: un rayo o una interferencia derivada de una chispa de un motor. Sin embargo, no debe confundirse con el ruido atmosférico o producido por el hombre, ya que la duración de estos es más prolongada en el tiempo.

Galáctico

Tiene su origen en las perturbaciones producidas más allá de la atmósfera terrestre. Como principales fuentes de ruido galáctico aparecen el sol y otras estrellas.

- ▶ **Solar:** el sol es una gran fuente de emisión de energía en forma de radiación electromagnética. Por tanto, estas señales afectan a los sistemas de telecomunicaciones. El **rango frecuencial** de estas emisiones es muy amplio, incluyendo las bandas comúnmente empleadas para los sistemas de comunicación por radio. La intensidad de la emisión producida por el sol varía de forma cíclica, con un período de unos once años aproximadamente. En los niveles más altos, esta radiación puede llegar a hacer inutilizables algunas bandas frecuenciales.
- ▶ **Cósmico:** de la misma forma que el sol, otras estrellas próximas a nuestro planeta emiten energía en forma de radiación electromagnética que puede llegar a afectar a nuestras señales y sistemas de comunicaciones.

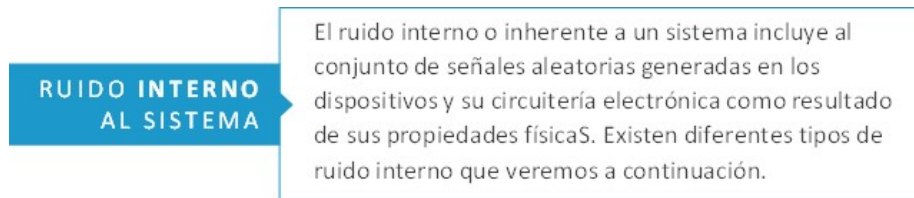


Figura 3. Definición de ruido externo al sistema.

Ruido térmico

Esta fuente de ruido se debe a la agitación aleatoria de los electrones en los elementos de un circuito electrónico. Este movimiento solo podría cancelarse en condiciones de cero absoluto de temperatura. Por tanto, se trata de una fuente de **ruido inevitable** que siempre va a estar presente en un sistema de captación y procesamiento de señales. El movimiento de los electrones es mayor conforme la temperatura del conductor aumenta, dando lugar a pequeñas corrientes eléctricas. Esta señal ruidosa se distribuye en un amplio rango de frecuencias, de forma que siempre afectará en cierto grado al sistema, a pesar de llevar a cabo diferentes etapas de filtrado.

Ruido de parpadeo (*flicker*) o $1/f$

Se denomina $1/f$ debido a que su potencia decae por debajo de 1 KHz cuando la frecuencia aumenta. Por lo que tiene mayor impacto sobre las bajas frecuencias. Las causas físicas de este tipo de ruido no están del todo claras. Se origina en elementos como transistores o resistencias, y se hipotetiza que se debe a procesos de intermodulación en estos elementos.

Relación señal a ruido (SNR)

Ante una fuente de información afectada por artefactos ruidosos, el valor de la relación señal a ruido (SNR, *signal to noise ratio*) indica cuantitativamente **la calidad de la señal** de interés. Esta relación viene dada por el cociente entre la potencia de la señal recibida y la potencia estimada del ruido. Así, un valor mayor que la unidad indica una mayor presencia de señal frente al ruido. Generalmente, la relación entre ambos términos de potencia viene expresada en decibelios (dB), por lo que la SNR se calcularía como:

$$SNR = 10 \log_{10} (P_S / P_N)$$

Donde:

- ▶ P_S se corresponde con la potencia de la señal.
- ▶ P_N se corresponde con la potencia del ruido.

4.4. Caracterización matemática del ruido: procesos estocásticos

El término proceso estocástico ha sido previamente empleado en este tema para referirnos a una **señal aleatoria**. En nuestro caso, cualquier señal será el resultado de la combinación de la señal de interés y una señal no deseada, de naturaleza aleatoria y caótica, que contribuye a aumentar la entropía. Esta señal no deseada es el ruido.

Por lo que la señal resultante es, en sí misma, una señal aleatoria. Al igual que sucede con una variable aleatoria, de la que tomamos una muestra y obtenemos valores de acuerdo a una función de densidad de probabilidad, las señales que manejamos son realizaciones de un proceso estocástico. Cada vez que extraemos una muestra de la fuente de información, obtenemos una señal diferente.

En esta sección, se proporciona una definición formal de proceso estocástico que permita comprender el modelado y caracterización del ruido en el tratamiento de señales.

Una variable aleatoria está caracterizada por los siguientes tres elementos:

- ▶ **Espacio muestral.** Es el conjunto de todos los resultados que pueden observarse en la realización de un experimento.
- ▶ **Conjunto de sucesos.** Subconjunto del espacio muestral.
- ▶ **Ley de probabilidad.** Asignación de probabilidad a cada uno de los sucesos observables.

Un proceso estocástico puede verse como una variable aleatoria para la que el resultado de un experimento viene dado en forma de señal. De la misma forma que una variable aleatoria, está caracterizado por la terna mencionada: espacio muestral, conjunto de sucesos y ley de asignación de probabilidades.

En la siguiente imagen vemos la interpretación del concepto de proceso estocástico X :

- ▶ Para diferentes realizaciones del proceso (a_1 , a_2 y a_3) se obtienen diferentes señales como resultado: $x(t, a_1)$, $x(t, a_2)$ y $x(t, a_3)$.
- ▶ Si nos fijamos en un único instante de tiempo t_0 , obtenemos muestras de la variable aleatoria X_{t_0} .

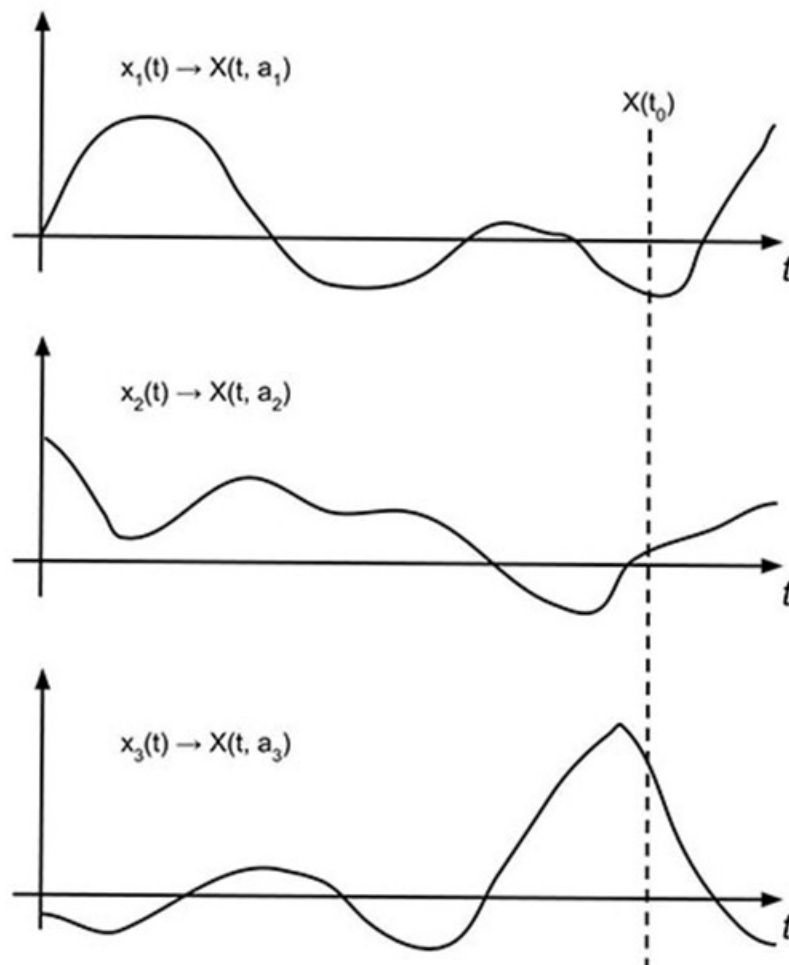


Figura 4. Interpretación del concepto de proceso estocástico.

En la práctica, como se ha mencionado previamente en este tema, tendremos señales ruidosas que, desde un punto de vista matemático, serán modeladas como un proceso estocástico. La componente de ruido se supondrá aditiva, por lo que la señal capturada $y(t)$ tendrá la siguiente forma:

$$y(t) = x(t) + \varepsilon(t)$$

Donde:

- ▶ $x(t)$ refleja la señal de interés.
- ▶ Y el término $\varepsilon(t)$ corresponde al ruido.

Considérese, por ejemplo, que la señal de interés corresponde a un tono de frecuencia f y que la componente ruidosa obedece a una distribución gaussiana de media nula y varianza s .

En el siguiente gráfico, podemos ver esta señal objetivo (parte superior) y una realización del proceso estocástico que corresponde a la señal observada (parte inferior).

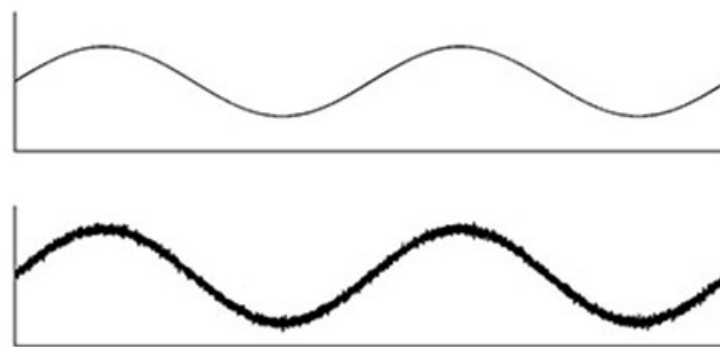


Figura 5. Ejemplo de una señal ruidosa modelada como un proceso estocástico.

Como puede apreciarse, el componente de ruido dota a la señal de naturaleza aleatoria que nos impide conocer con exactitud el valor de la misma en un instante t . A fin de caracterizar el proceso estocástico, el objetivo será conocer las propiedades estadísticas del mismo. Las funciones de distribución y densidad de probabilidad permiten modelar estadísticamente el proceso. Estas funciones vendrían dadas de la siguiente forma:

- ▶ Función de distribución: $F_X(x,t) = P(X(t) \leq x)$
- ▶ Función de densidad de probabilidad: $f_X(x,t) = dF_X(x,t) / dx$

A partir de estas funciones, puede definirse la estacionariedad del proceso:

- ▶ Un proceso es estacionario en **sentido estricto** si la función de densidad de probabilidad que caracteriza al proceso no varía con el tiempo. Es decir, para c constante tal que $c > 0$, se tendrá lo siguiente: $F_X(x,t) = F_X(x,t+c)$
- ▶ Un proceso es estacionario en **sentido amplio** si los momentos estadísticos que lo caracterizan (media, varianza, etc.) no varían respecto al tiempo.

Retomemos el ejemplo anterior. En esta ocasión, la señal capturada muestra, además del ruido gaussiano, otro componente que provoca una clara tendencia a lo largo del tiempo. El siguiente gráfico recoge este nuevo ejemplo. Como resultado de esta tendencia, las propiedades estadísticas de la señal no se mantienen a lo largo del eje temporal, por lo que no puede considerarse una señal estacionaria. Será necesario eliminar el componente de ruido que provoca esta tendencia para eliminar la no estacionariedad presente en nuestra información.

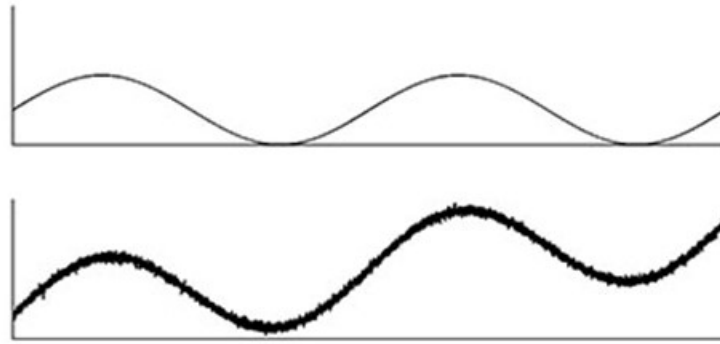
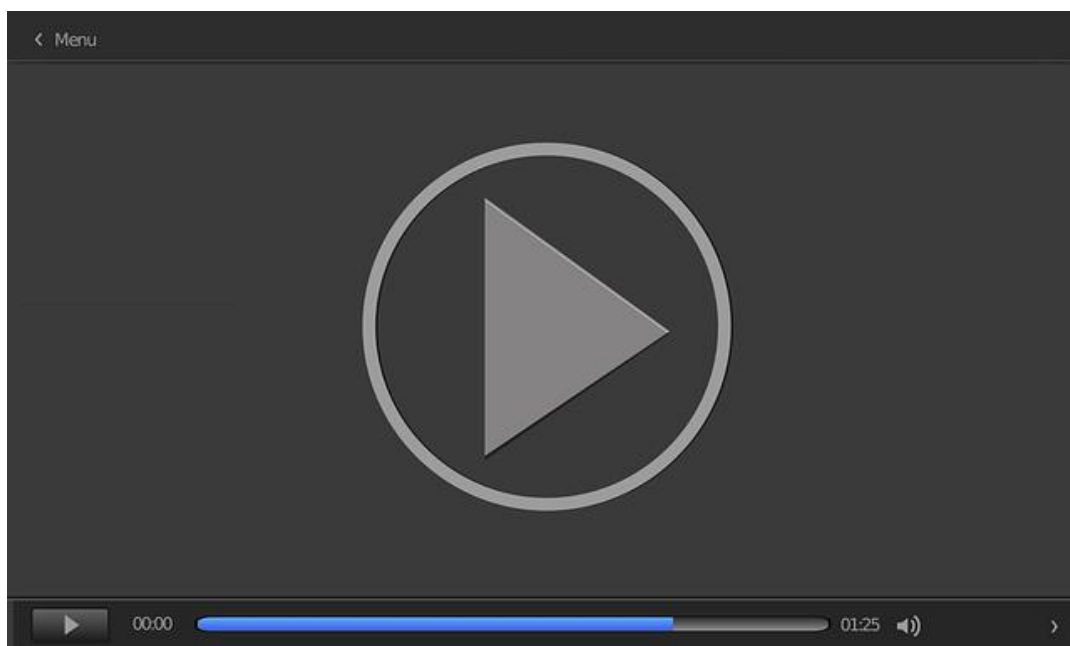


Figura 6. Proceso estocástico no estacionario.

¿Qué es la señal y el ruido?

Eor Equis. (2014, diciembre 3). *Understanding SNR Part 1 - What are signal and noise?* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=3q6TgxQqomM>

Vídeo explicativo del concepto de ruido en el contexto de procesado de señal.



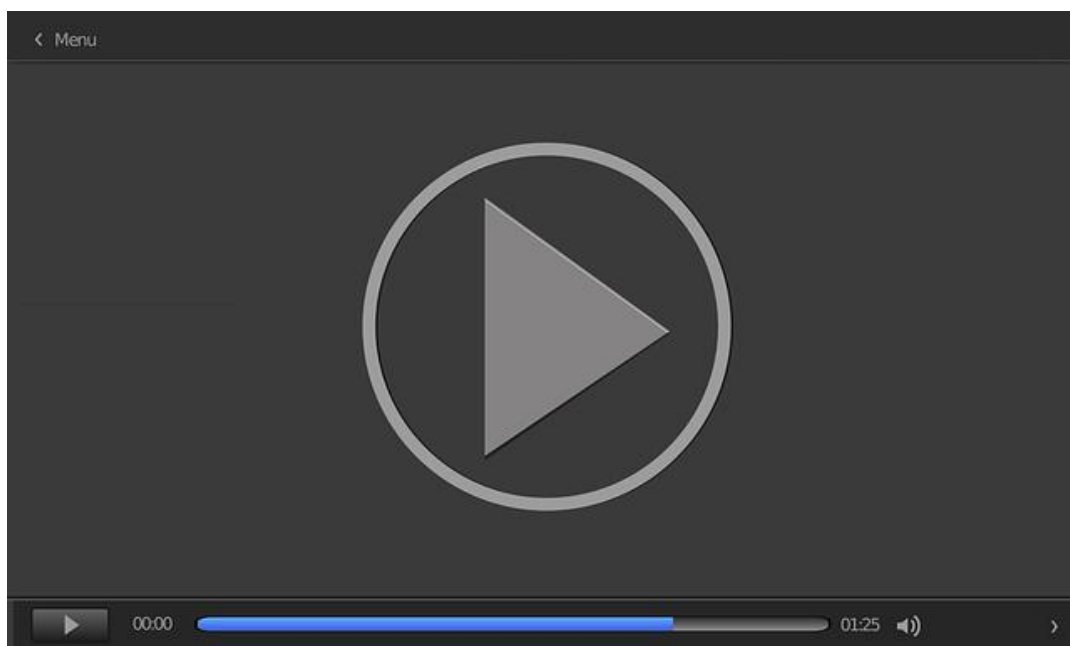
Accede al vídeo:

<https://www.youtube.com/embed/3q6TgxQqomM>

Signal-to-noise Ratio (SNR)

Darryl Morrell. (2011, abril 8). *Signal-to-Noise Ratio* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=MSKYeWfsNO0>

Vídeo explicativo del concepto de relación señal a ruido.



Accede al vídeo:

<https://www.youtube.com/embed/MSKYeWfsNO0>

Bibliografía

- Alberola, C. (2004). *Probabilidad, variables aleatorias y procesos estocásticos: una introducción orientada a las Telecomunicaciones*. Universidad de Valladolid: Secretariado de Publicaciones e Intercambio Editorial. Recuperado de <https://cesarperezsite.files.wordpress.com/2014/12/pr0b4b111d4d-v4r14bl35-4l34tor345.pdf>
- Lake, D. E. (2006). Renyi entropy measures of heart rate Gaussianity. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 53(1), 21-27. Recuperado de <http://ieeexplore.ieee.org/document/1561516/>
- Marcos, J. V. et al. (2016). Regularity analysis of nocturnal oximetry recordings to assist in the diagnosis of sleep apnoea syndrome. *Medical Engineering and Physics*, 38(3), 216-224. Recuperado de [http://www.medengphys.com/article/S1350-4533\(15\)00268-4/fulltext](http://www.medengphys.com/article/S1350-4533(15)00268-4/fulltext)
- Oppenheim, A. V., Willsky, A. S. y Nawab, S. H. (1998). *Señales y sistemas*. Naucalpán de Juárez: Prentice Hall.

1. ¿Qué es el ruido?
 - A. Componente de alta frecuencia de una señal.
 - B. Componente de baja frecuencia de una señal.
 - C. Componente no deseada y de naturaleza aleatoria que modifica la intensidad de la señal original.
 - D. Componente anómalo de una señal.

2. ¿Debe llevarse a cabo una etapa específica para el tratamiento del ruido en un sistema de procesado de señales?
 - A. Sí, como una de las etapas iniciales a fin de preservar la información contenida en la señal y original ante las etapas posteriores.
 - B. Sí, tras las etapas propias de extracción de características que persiguen describir de forma cuantitativa los elementos de la señal bajo estudio.
 - C. Sí, mediante la aplicación de una etapa de filtrado paso-alto que permite quedarnos con los componentes de variación más rápida de la señal.
 - D. Sí, mediante la implementación de un sistema de identificación y eliminación de anomalías.

3. ¿Cómo se define la entropía en el contexto de la teoría de la información?
 - A. Promedio ponderado de los valores que una variable aleatoria puede tomar de acuerdo a la probabilidad asociada a cada uno de ellos.
 - B. El ratio de incremento de ruido en una señal mediante la inclusión de nuevas muestras.
 - C. Ninguna de las respuestas es correcta.
 - D. La cantidad de información, en promedio, de una fuente aleatoria.

4. Supongamos dos variables aleatorias X e Y . La variable X se caracteriza por una función de densidad de probabilidad uniforme en el intervalo $[a, b]$. La variable Y se caracteriza por una función de probabilidad de tipo gaussiana con media $(a + b)/2$ y varianza igual al 1 % de la media. De forma cualitativa y sin necesidad de realizar cálculos, ¿cuál de las dos variables tendrá mayor entropía?

- A. La variable Y .
- B. Igual.
- C. Siempre la variable Y .
- D. La variable X .

5. ¿Cómo se evalúa la entropía de una señal?

- A. No puede calcularse porque es una función del tiempo.
- B. Se evalúa el ratio de entropía por la inclusión de nuevas muestras.
- C. Se calcula la probabilidad asociada a cada muestra.
- D. Si la señal es una función del tiempo, puede calcularse su entropía; en imágenes no se calcula la entropía.

6. ¿Qué es la entropía aproximada?

- A. La entropía de Shannon.
- B. La entropía de una variable y , por tanto, una medida de su cantidad de información.
- C. La entropía de un conjunto de variables.
- D. Un algoritmo para la estimación de la entropía en una serie temporal.

7. ¿Qué es el ruido interno o inherente a un sistema?

- A. Viene dado por las señales eléctricas derivadas de las descargas naturales que tienen lugar bajo la ionosfera.
- B. Se debe a la agitación aleatoria de los electrones en los elementos de un circuito electrónico. Este movimiento solo podría cancelarse en condiciones de cero absoluto de temperatura.
- C. El derivado de los artefactos eléctricos generados por fuentes como automóviles, motores eléctricos, interruptores, líneas de alto voltaje... Se conoce también como ruido industrial.
- D. Conjunto de señales aleatorias generadas en los dispositivos y su circuitería electrónica como resultado de sus propiedades física.

8. ¿Qué es el ruido producido por el hombre?

- A. Viene dado por las señales eléctricas derivadas de las descargas naturales que tienen lugar bajo la ionosfera.
- B. Se debe a la agitación aleatoria de los electrones en los elementos de un circuito electrónico. Este movimiento solo podría cancelarse en condiciones de cero absoluto de temperatura.
- C. El derivado de los artefactos eléctricos generados por fuentes como automóviles, motores eléctricos, interruptores, líneas de alto voltaje... Se conoce también como ruido industrial.
- D. Conjunto de señales aleatorias generadas en los dispositivos y su circuitería electrónica como resultado de sus propiedades física.

9. ¿Qué es el ruido térmico?

- A. Viene dado por las señales eléctricas derivadas de las descargas naturales que tienen lugar bajo la ionosfera.
- B. Se debe a la agitación aleatoria de los electrones en los elementos de un circuito electrónico. Este movimiento solo podría cancelarse en condiciones de cero absoluto de temperatura.
- C. El derivado de los artefactos eléctricos generados por fuentes como automóviles, motores eléctricos, interruptores, líneas de alto voltaje... Se conoce también como ruido industrial.
- D. Conjunto de señales aleatorias generadas en los dispositivos y su circuitería electrónica como resultado de sus propiedades física.

10. ¿Cuál de estas definiciones se ajusta con mayor precisión a un proceso estocástico?

- A. Cualquier variable aleatoria con un comportamiento estacionario en sentido amplio.
- B. Una señal o función del tiempo a la que se suma otra componente.
- C. Una variable aleatoria para la que el resultado de un experimento viene dado en forma de señal.
- D. Una señal ruidosa.