

EL CONOCIMIENTO MEDIANTE IMÁGENES. LAS FRECUENCIAS ESPACIALES EN LA PERCEPCIÓN VISUAL HUMANA.



EL OJO NO ES UNA CÁMARA

En los seres humanos, dejando el color aparte, la representación inicial consiste en la distribución de intensidades de luz (de valores de gris) correspondientes a la imagen, detectadas por los fotorreceptores de la retina. Esto es el estímulo y lo llamamos **imagen de entrada**.

El procesamiento perceptual visual total consiste en transformar esta representación inicial en otra final de la que somos conscientes y por la que nos informamos de las cosas de nuestro ambiente. El ojo forma parte de un sistema de procesamiento de información: **el sistema visual humano (SVH)**; una cámara produce imagen pero no percibe.

Para que nosotros podamos percibir visualmente una forma con la que conocer los objetos y la escena que tales objetos constituyen, es necesario que primero se produzca la captación automática de la estructura espacial del estímulo. Esta captación de la estructura espacial del estímulo o percepción en el plano de la imagen de entrada (el estímulo constituye la imagen de entrada en el proceso), se estudia desde tres planos diferentes:

1. **Plano fisiológico**: se estudia la anatomía y la fisiología de los sistemas celulares y órganos implicados en la visión, desde la retina hasta las regiones de la corteza cerebral específicamente involucradas.
2. **Plano psicofísico**: es el plano específico de la psicología, y estudia el proceso perceptual mental y lo que son propiamente fenómenos perceptuales psicológicos. Se le llama psicofísico porque desde él se estudia cómo son nuestras experiencias sensoriales conscientes ante la presentación de diferentes estímulos físicos. El objetivo de la psicofísica visual es estudiar qué es lo que vemos cuando se nos presenta un estímulo físico. En el sentido más estricto, la psicofísica estudia esas relaciones entre lo físico y lo mental de un modo cuantitativo. Fechner estudió las relaciones cuantitativas entre estímulo y sensación atendiendo a la intensidad.
3. **Plano teórico**: se admite que el sistema visual humano actúa como un sistema lineal matemático, y se estudia cómo se caracteriza este sistema lineal.

EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN MEDIANTE IMÁGENES.

DESCRIPCIÓN DE LA IMAGEN DE ENTRADA Y EXTRACCIÓN DE INFORMACIÓN

◀ La imagen de entrada ▶

El hecho de que el mundo sea tridimensional tiene como consecuencia que encontremos variaciones en cómo percibimos dichas cosas; esto es, en luminancia, profundidad, movimiento y color.

El patrón estructurado de la luz en un punto de observación posee la información del ambiente que desde ese punto se observa. Esa luz incide sobre nuestros ojos y forma la **imagen de entrada**. Se trata de un patrón de activaciones de las células de la retina producidas por la incidencia de los rayos luminosos. Esta entrada, a la que llamaremos imagen retiniana o imagen de entrada, es una imagen porque expresa, en dos dimensiones, una distribución de la luminancia con que se nos representa una persona, un objeto o una escena.

Puede afirmarse que lo que hacen las células fotorreceptoras de la retina es recibir un patrón de luz reflejada en los objetos, y ello puede considerarse como un **muestreo espacial de la imagen**. Los fotorreceptores retinianos (conos y bastones) realizan el proceso que transforma en impulsos nerviosos la energía luminosa que llega a la retina y que transporta la imagen de entrada.

Científicamente, Sierra dice que la imagen de entrada se define como una función bidimensional real que a cada punto (x, y) del plano le asigna el valor de la luminancia emitida por ese punto. Puede expresarse de modo analítico mediante una fórmula o de modo gráfico de varias maneras. La psicofísica visual no solo pretende definir la imagen, sino procesarla para extraer la información que contiene.

◀ Análisis de la imagen en un conjunto de puntos y en un conjunto de enrejados de barras ▶

La imagen en la retina es una imagen bidimensional porque es el patrón de la capa de conos y bastones que se activan al llegar a ellos la energía luminosa con que se representa la imagen de una persona, un objeto, o una escena de nuestro ambiente. Dicha representación, o imagen de entrada, puede analizarse de dos maneras:

1. como una estructura homogénea de dos dimensiones de receptores puntuales. Esta representación puede expresarse con una matriz de números, con dos subíndices cada uno de ellos. Cada elemento de la matriz correspondería a un receptor, y el valor numérico de ese elemento nos diría la intensidad de la luz que llega a dicho receptor. Los valores de los subíndices de ese elemento indicarían el lugar que ocupa ese punto en la imagen. Con ello tendríamos la disposición de la imagen en elementos llamados píxeles. Esos elementos son representativos de valores de gris (de intensidades de luminancia), cada uno con su peso correspondiente.

Así, un **píxel** (palabra derivada de “Picture element”) es cada uno de los elementos de esa matriz, es decir, de una imagen digitalizada. El tamaño de la imagen digitalizada nos lo dice el número de píxeles por fila y columna de la matriz, y los niveles de gris (luminancia; blanco máxima luminancia, negro cero luminancia) vienen dados por el valor numérico de cada píxel. El lugar de cada píxel viene indicado por los dos subíndices de la matriz.

Imagen -----► Distribución luminosa -----► Matriz de números
Matriz de números-----► Distribución luminosa -----► Imagen

Una descripción así de la imagen es como si se realizara por un conjunto de puntos luminosos dispuestos unos al lado de otros. Es una descripción espacial local de la imagen (como un mosaico de puntos de diversos niveles de gris).

2. como una serie de enrejados de barras claras y oscuras que, como si fueran transparencias, al sumarse unas sobre otras, nos dan la imagen original. De esta manera se analiza la imagen en patrones globales, es decir, de un modo espacial global en un conjunto de imágenes más sencillas componentes de dicha imagen.

◀ **Procesamiento inicial de imágenes por el Sistema Visual Humano** ▶

El **procesamiento inicial**, al que llamamos **procesamiento con nivel de imagen de entrada** y que, generalmente, además de procesamiento inicial se llama también **procesamiento temprano**, consiste en producir una descripción de los cambios de luminancia que hay en la imagen de entrada. Esta descripción que efectúa el procesamiento inicial es muy primitiva, pero contiene una información muy significativa.

Marr denominó a esta descripción primitiva **esbozo primario**, distinguiendo dentro de él el esbozo primario bruto (referido a los bordes) y el esbozo primario completo (referido a la aparición de la forma y organización de los elementos perceptivos). Normalmente, el esbozo primario se llama **Estructura espacial de la imagen**.

Para que nosotros podamos percibir visualmente un objeto y la escena de la que forma parte es necesario un paso previo o inicial, la captación automática de la estructura espacial del estímulo. De esta manera, hacer explícitos los cambios de intensidad de luminancia y la geometría espacial de ellos son las operaciones o procesamiento que transforman el estímulo en el esbozo primario de dicho estímulo.

Hay que resaltar que el procesamiento que generan esas descripciones, o esbozos, opera directamente sobre la imagen de entrada y se aplica de modo automático, esto quiere decir, que se produce, queramos o no, con independencia de la experiencia y del razonamiento. Esto significa que el procesamiento está guiado por los datos o por el estímulo.

La dirección del procesamiento tiene gran relevancia. A veces, el procesamiento obtiene información directamente de la escena observada, sin interpretación alguna. A este tipo de procesamiento se le considera **procesamiento guiado por los datos o “bottom-up”** (desde lo inferior a lo superior de la mente). Otro tipo de procesamiento es aquel en el que el sujeto aplica a la escena observada el conocimiento previo que posee. A este procesamiento se le llama **procesamiento guiado conceptualmente o “por la hipótesis” o “top down”** (desde lo superior a lo inferior de la mente). **El procesamiento inicial es “bottom-up” y parte de la imagen de la retina.**

EL ANÁLISIS, PROCESAMIENTO Y TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN MEDIANTE FRECUENCIAS ESPACIALES

◀ **Análisis de frecuencias espaciales** ▶

El sistema visual humano analiza, procesa y transmite información visual. Sin embargo, la información visual se puede analizar, procesar y transmitir de dos maneras:

- En el **dominio del espacio**: un ejemplo es el cine; otro ejemplo es el puzzle en que, mediante trocitos de espacio, se transmite la información de una imagen.
- En el **dominio de la frecuencia**: un ejemplo es la televisión que analiza, procesa y transmite información visual, la cámara recoge lo que ocurre en plató en donde se rueda la escena que sea, y la emisora transforma esa información visual en ondas electromagnéticas que manda al espacio. Esas ondas tienen características de amplitud, periodo, frecuencia, longitud, orientación y fase.

Mucho antes de que la televisión analizara, procesara y transmitiera información visual en el dominio de la frecuencia, ya lo hacía el sistema visual humano y el de los otros animales. Y esto por dos razones, porque la transmisión en el dominio de la frecuencia es más útil para la captación de la información, y porque las células de la retina y del resto del sistema nervioso lo que hacen es transmitir impulsos con una determinada frecuencia.

Características de las ondas:

- **Amplitud:** es la distancia entre el punto más alto y el más bajo, aunque suele tomar la mitad de esta referida al eje de coordenadas.
- **Periodo o ciclo:** es el tiempo transcurrido entre dos puntos de igual vibración.
- **Frecuencia:** es el número de periodos por segundo. Es una característica de todo aquello que se repite.

El **periodo** y la **frecuencia** son valores recíprocos. Si la frecuencia es muy alta, el periodo tiene que ser muy pequeño. De esta manera, el valor de la frecuencia es uno dividido por el periodo y el valor del periodo es uno dividido por la frecuencia.

- **Longitud:** es el recorrido de una onda completa.
- **Orientación:** se toma por referencia a un sistema de coordenadas o, si se quiere, con relación a la vertical y la horizontal de un lugar dado.
- **Fase:** se dice de cada uno de los estados sucesivos de un fenómeno, se dice que están en fase dos fenómenos cuando está de acuerdo el uno con el otro. Como propiedad de una onda la fase se refiere al punto en que la onda comienza en la relación con el origen de un sistema de coordenadas; si comienza en ese origen diremos que está en fase, pero si comienza un cuarto de circunferencia después diremos que su fase está $\pi / 2$ atrasada.

Hay cosas que no se repiten en el tiempo, sino que se repiten en el espacio. Esto es lo que ocurre con **un enrejado de barras**, hay una repetición de barras oscuras y claras. De esta manera, hablamos de frecuencias espaciales, de frecuencias que se dan en ondas espaciales.

En un enrejado de barras:

- La **frecuencia** viene dada por el número de veces que se repiten las barras oscuras y claras (número de ciclos claridad-oscuridad) en una unidad de espacio. En el caso de los fenómenos visuales se suele emplear como unidad de espacio el grado de ángulo visual, el cual, por adaptarse a la distancia con que percibimos el enrejado, se convierte en una unidad estable para la medida de la frecuencia espacial. La unidad de espacio puede ser el centímetro, pero en el estudio de los fenómenos visuales se suele usar el grado de ángulo visual porque éste siempre es el mismo. Si por ejemplo utilizáramos como medida espacial el centímetro, entonces la frecuencia dependería de la distancia en que observemos el enrejado, pues en un centímetro a larga distancia caben más ciclos que en uno a corta distancia. Sin embargo, el ángulo visual solo cambia al ver un objeto cerca o lejos, pero el grado del ángulo es siempre el mismo. Modernamente, los autores miden la frecuencia en número de ciclos por imagen, o lo que es lo mismo, número de ciclos por número de grados del ángulo visual con que percibimos la imagen. El valor del grado es siempre el mismo, pero aquí el número de grados de un ángulo sí cambia, cuando cambia el ángulo. Por tanto, si medimos la frecuencia en número de ciclos por número de grados, entonces la frecuencia sí cambia al alejarnos. Ello sucede porque ahora se percibe la imagen con el mismo número de ciclos, pero con un ángulo mucho menor y, por tanto, con menor número de ciclos partido por número de grados, el denominador disminuye y, en consecuencia, el valor de la razón aumenta; es decir, aumenta la frecuencia. Por consiguiente, con esta medida de la frecuencia (número de ciclos por imagen) la imagen se ve de lejos con mayor frecuencia que de cerca, lo cual parece ser que es también lo que hace el sistema visual humano.

Es importante señalar que si en un enrejado se repiten muchas barras oscuras y claras en una unidad de espacio, entonces la frecuencia de ese enrejado es grande y, si se repiten pocas barras, entonces la frecuencia de ese enrejado es pequeña.

- La **amplitud** viene determinada por la diferencia entre la parte más brillante y la más oscura de cada par de barras (intensidad mayor del negro y la intensidad mayor del blanco).
- El **periodo** es el recíproco de la frecuencia, es el espacio ocupado por un par de barras, una oscura y otra clara. En el caso de las frecuencias espaciales el **periodo** es el espacio ocupado por un par de barras una oscura y otra clara y, el grueso del conjunto de las mismas (de una barra oscura y una barra clara) es la **longitud** de onda espacial.
- La **orientación** es el ángulo del eje de barras con la vertical, medido en grados en el sentido contrario a las agujas del reloj. La luminancia en la dirección perpendicular a las barras (orientación) varía ondulatoriamente.
- La **fase** se refiere a la posición del enrejado a lo largo de su dimensión sinusoidal en relación a un punto de referencia.

Los enrejados de barras claras y oscuras reciben el nombre de **estímulos de enrejado**. Según sea la forma de las barras, el enrejado puede ser:

- De **onda cuadrada**: si las barras cambian bruscamente de azules a blancas y viceversa.
- De **onda sinusoidal**: si en las barras la intensidad oscura o clara es según la función seno, como una ola u onda, que va gradualmente de lo oscuro a lo claro y viceversa.

Este es el concepto de onda sinusoidal como contrapuesta a onda cuadrada. Hay que tener cuidado de no confundir este concepto con el de onda sinusoidal en contraposición a onda cosenoidal.

En el primer caso la función comienza por un seno (valor de luminancia mínimo, negro) y en el segundo por un coseno (valor de luminancia máximo, blanco).

El algoritmo que nos permite analizar una onda compleja (la onda cuadrada por ejemplo) en sus componentes más simples es el **análisis de Fourier**. El análisis del estímulo perceptual por el análisis Fourier es analizar la función que lo representa en las funciones senos y cosenos que la componen.

El **análisis Fourier** de una imagen consiste en dos partes:

- **El espectro de amplitud** (en una particular frecuencia espacial y orientación), que especifica la amplitud de cada enrejado de barras, es decir, la intensidad o distancia que hay entre lo más negro de una barra y lo más blanco de otra.
- **El espectro de fase** que especifica la fase de cada enrejado (en una particular frecuencia espacial y orientación).

Si todos los enrejados, a los que corresponden dichos espectros, en los que analizamos la imagen se suman, harán aparecer de nuevo con exactitud la imagen original. De esta manera, el análisis Fourier es una operación (que sirve como método) de descomponer una imagen compleja, o un rasgo localizado de ella, en sus componentes primitivos, que, si se sumaran, volverían a crear la imagen original, o el rasgo localizado original. Cuando las ondas son periódicas, como es el caso de la onda cuadrada, el análisis se hace mediante las **series de Fourier**, cuando la onda es aperiódica, caso más normal de una imagen, el análisis se hace mediante la **transformada de Fourier**. Ambas, series y transformada de Fourier, nos permiten calcular los valores de amplitud, frecuencia y fase, de cada una de las ondas componentes y, en el caso de ondas espaciales con dos dimensiones, también la orientación.

Pasar del dominio del espacio al dominio de la frecuencia, por sí mismo, no es extraer información, es sólo una manera de analizar y describir la imagen, para extraer información desde la imagen hace falta una nueva operación del sistema visual, es decir, tanto para el análisis de la imagen en frecuencias espaciales, como para la obtención de información desde la misma, se utiliza el análisis de Fourier, pero hace falta que el sistema visual esté formado por canales psicofísicos de frecuencia espacial.

EL MECANISMO DEL SISTEMA VISUAL HUMANO

◀ Filtros de frecuencia espacial ▶

El primer círculo (poca distancia al centro) nos señala las frecuencias bajas. La corona circular intermedia (distancia media al centro) nos demarca las frecuencias medias y, finalmente, el círculo mayor (mucho distancia al centro) nos demarca el área de las altas frecuencias. Cada banda de frecuencia espacial (o corona circular) del espectro bidimensional de la imagen indica una escala o nivel de resolución y cada región espectral (o sector de corona) indica un nivel de resolución o escala en una orientación determinada.

Las **frecuencias altas** nos informan los detalles de la imagen. El grano de los puntos del espectro, en las frecuencias altas, es muy fino y se realza mucho en los bordes. Las **frecuencias medias** nos sirven para reconocer la imagen. Las **frecuencias bajas**, cuyo grano en los puntos del espectro es grueso, sólo nos informan del aspecto global de la imagen. Estas frecuencias dan información de la imagen en su conjunto. Esto es lo que se conoce como la información contenida en las diferentes zonas del espectro bidimensional de una imagen. Si queremos ver de modo experimental la información espacial contenida en cada una de las zonas del espectro, lo mejor es seleccionar una región solamente del espectro de amplitud y desechar el resto; esto es filtrarlo. Después, utilizando la transformada inversa de Fourier y sin variar el espectro de fase, reconstruir la imagen. Así veremos qué elementos de la imagen son los que aparecen de una manera más clara. Con esta técnica podemos analizar la imagen en varios rangos de frecuencia espaciales, bajas, medias o altas. Ello supone que mediante el uso de distintas frecuencias, el sistema visual puede realizar una descripción de la estructura espacial de la imagen, a la que llamamos boceto primario.

El sistema o algoritmo que extrae la información modifica o desplaza los componentes espectrales de la entrada. Este algoritmo de extraer información se llama **filtro**. Un filtro es como una criba que deja pasar determinadas cosas y otras no. Un filtro de frecuencias, por tanto, es un mecanismo que deja pasar un rango de ellas.

- **Filtro de paso-bajo:** deja pasar las frecuencias que están por debajo.
- **Filtro de paso-alto:** deja pasar las frecuencias que están por encima.
- **Filtro de paso-banda:** deja pasar las frecuencias que están dentro de esa banda (de ese rango).

Se dice que un filtro está orientado cuando deja pasar las frecuencias en un determinado rango de orientación.

◀ Canales de frecuencia espacial ▶

Las células de nuestro sistema nervioso y nuestra mente analizan el estímulo y sintetizan la descripción inicial de él, de dos formas diferentes:

1. codificando la imagen de entrada en **rasgos locales**: describimos la imagen mediante puntos adyacentes.
2. codificando la imagen de entrada mediante **patrones globales**: describimos la imagen mediante la suma de enrejados de barras, que son patrones globales. Esto se hace mediante un análisis de frecuencias espaciales.

La teoría de la frecuencia espacial de la visión defiende, que de los canales psicofísicos, cada uno es sensible sólo a un rango de frecuencia espacial y a una orientación de los enrejados de barras o enrejados sinusoidales.

Se entiende por canal una estructura psicofísica (y también biológica) que permite la entrada de información en el sistema visual. Un canal psicofísico sería, por lo tanto, una estructura bidimensional uniforme de sensores o detectores que se ocuparían cada uno de un área del campo visual. Estos sensores varían en posición y filtran diferentes frecuencias y orientaciones. La zona con que es recibida y codificada la información visual por cada sensor receptivo se llama **campo receptivo**.

El concepto de canal psicofísico es, hoy por hoy, un constructo hipotético.

Palmer señala que cuando llegan a nuestros órganos visuales las energías electromagnéticas o luz reflejada en la cosa real, que constituye nuestro estímulo real de nuestro mundo, los canales psicofísicos o mentales (y los canales fisiológicos, sistemas celulares, de nuestro sistema nervioso) sintonizan con unas frecuencias y no con otras y analizan la imagen (descripción) y sintetizan la estructura espacial de ella (obtención de información). Se trata sólo de un boceto o esbozo, porque percibir una cosa es algo más que percibir su estructura espacial.

Existen dos teorías sobre los canales psicofísicos que constituirían el sistema visual humano:

- **La teoría unicanal:** defiende que el sistema sería un canal único que filtraría todo el espectro de la imagen de entrada. Decimos que el canal es único si todos sus elementos actúan de igual forma. Es decir, se codifica la información (la imagen) de modo uniforme por todos los elementos que constituyen el canal. Todos codifican las mismas dimensiones y caracteres.
- **La teoría multicanal:** sostiene que el sistema visual sería un conjunto de detectores independientes, cada uno precedido por un filtro sintonizado a una frecuencia y orientación diferente. Aquí cada canal transmite de modo selectivo ciertas dimensiones y características de la información (en nuestro caso la imagen) y no otras. La conclusión es que es posible que el sistema visual humano sea un sistema multicanal, que sea diferencialmente sensible a los componentes espectrales de una imagen, que realice un análisis espectral de ella y que la representación de salida lo sea en el dominio de la frecuencia espacial.

La teoría de los canales psicofísicos la han desarrollado **Campbell** y **Robson**, estos autores afirman que el sistema visual humano funciona como un conjunto de detectores independientes y que cada uno de estos detectores está precedido de un filtro sintonizado a una frecuencia espacial diferente y a una orientación. Es decir, cada filtro sólo deja pasar una determinada frecuencia espacial y lo hace en una orientación, por eso decimos que está sintonizado con ella. El filtro deja pasar una sola banda estrecha de frecuencias, como pasa con los canales de televisión y radio, no una sola frecuencia determinada. Sin embargo, un canal es algo más que el filtro. Según **Campbell** y **Robson** cada detector o sensor con su filtro constituye un canal psicofísico separado. Así pues, dentro del enfoque psicofísico, el sistema visual se puede entender como algo que consiste en muchos canales que se solapan y que están sintonizados cada uno a un rango diferente de frecuencias espaciales y a una orientación. Cada canal psicofísico del sistema visual tiene su propio valor en la función de sensibilidad al contraste.

LA FUNCIÓN DE SENSIBILIDAD AL CONTRASTE

◀ **Contraste y Función de Sensibilidad al Contraste** ▶

El **contraste** es un índice de la diferencia de la intensidad luminosa entre zonas adyacentes de diferente luminancia. **Michelson** lo definió por la siguiente fórmula:

$$\text{Contraste} = \frac{(\text{luminancia máxima} - \text{luminancia mínima})}{(\text{luminancia máxima} + \text{luminancia mínima})}$$

Su rango de variación oscila de 0 a 1, pues como se deduce de la fórmula de Michelson, cuando la luminancia mínima es cero entonces el contraste vale 1, cuando la luminancia mínima es igual que la luminancia máxima el contraste vale 0. Si el contraste es igual a cero, el enrejado aparece como un campo luminoso homogéneo. Si el contraste es igual a 1, entonces las barras (o cualquier tipo de zonas) son tan claras y tan oscuras como sea posible.

Esta definición del contraste es física, en psicología pueden intervenir otras variables, como por ejemplo que el contraste sea entre colores o el diferente grado de adaptación a la iluminación del sujeto que percibe. Lo importante es que la percepción del contraste depende también de la frecuencia espacial del estímulo que se percibe.

Campbell y **Robson** determinaron la fórmula de la función que expresa cómo el sistema visual humano percibe el contraste en función de la frecuencia espacial con que se percibe el estímulo. A ello se ha llamado **función de sensibilidad al contraste** (FSC). Dichos autores determinaron el nivel más bajo de estimulación, que en este caso es el contraste. Como en psicofísica el nivel más bajo de una estimulación que es perceptible se denomina umbral, denominaron al nivel de contraste más bajo perceptible **umbral de contraste**. Midiendo el umbral de

contraste de más bajo nivel en que un enrejado puede ser percibido, pudieron realizar una curva de los umbrales de los diferentes enrejados de barra que sucesivamente son diferentes en frecuencia. Puesto que la inversa del umbral es la sensibilidad de contraste, la curva recibió por tanto el nombre de **Función de Sensibilidad al Contraste** (FSC).

El experimento lo hicieron con muchas frecuencias espaciales diferentes; es decir, cuando en la pantalla el enrejado constaba de un número de barras diferentes en cada caso. A muchas barras mucha frecuencia, a pocas barras poca frecuencia.

El umbral del contraste y la sensibilidad al contraste son magnitudes inversas.

SENSIBILIDAD AL CONTRASTE Y CANALES DE FRECUENCIA ESPACIAL

◀ Predicciones a partir de la teoría de los canales de frecuencia espacial ▶

- La primera predicción se refiere a los umbrales de enrejados de onda cuadrada. La pregunta que se hace es ¿cuándo comienza a percibirse el enrejado y deja de percibirse un campo gris homogéneo?

La teoría de la frecuencia espacial predice que el enrejado se comienza a percibir (y deja de percibirse un campo gris homogéneo) precisamente con el contraste, en que la primera onda armónica componente de la onda cuadrada (la de frecuencia más baja), cruza su propio umbral independiente. Armónico es cualquiera de los componentes sinusoidales de una onda periódica compleja, cuya frecuencia sea múltiplo impar de la frecuencia fundamental. Por eso se dice que armonía es unión y combinación de ondas simultáneas y diferentes, pero acordes. Es decir, que están en consonancia.

- La segunda predicción hace referencia a que las personas somos capaces de hallar diferencias entre un enrejado de onda cuadrada y otra sinusoidal con la misma frecuencia fundamental. Esto significa que el sistema visual humano responde al enrejado de onda cuadrada como si estuviera compuesto de muchos componentes individuales, justamente como propone la teoría de la frecuencia espacial.

Ambas predicciones fueron confirmadas por los experimentos de **Blakemore** y **Campbell**, quienes determinaron el más bajo nivel de contraste en que los sujetos podían detectar un enrejado frente a un campo gris uniforme. Es decir, determinaron el contraste mínimo entre las barras blancas y negras del enrejado, para que no se viera como un campo uniformemente gris. Dicho de otra forma, midieron el umbral del contraste en que un enrejado oscurecido deja de percibirse como un campo gris y comienza a percibirse como un enrejado. Como instrumento, utilizaron la pantalla de un televisor en donde el sujeto podía ajustar el contraste mediante el botón que todos los televisores tienen para ello, hasta el valor del umbral; es decir, con menor contraste la pantalla se percibía como un campo gris.

Después de hacer la primera medición, dichos autores expusieron a los sujetos que se sometían al experimento, a un único enrejado. Más tarde volvieron a medir la función de sensibilidad al contraste de los sujetos para cada frecuencia espacial. Los resultados mostraron que se daba una adaptación y que los sujetos eran menos sensibles al contraste; se produce una **adaptación selectiva** que es específica para cada frecuencia y orientación del enrejado al que nos adaptamos. Cada canal se adapta a la frecuencia y orientación a la que está sintonizado. Cuando un enrejado se presenta por mucho tiempo, los mecanismos del canal sensible (sintonizado) a la frecuencia espacial de ese enrejado, se fatigan. De esta manera los mecanismos del canal psicofísico responden al estímulo menos vigorosamente y su sensibilidad al contraste disminuye, o lo que es lo mismo, aumenta el umbral del contraste.

Si el experimento se hace con enrejados de diferentes orientaciones, manteniendo la misma frecuencia, nos encontramos con resultados semejantes de adaptación selectiva, es decir, se reduce la sensibilidad para orientaciones cercanas a la del enrejado, al que se hace la adaptación.

Los canales psicofísicos son selectivos para las frecuencias espaciales y las orientaciones de los enrejados.