

## El sistema perceptivo: esa pequeña máquina del tiempo

Ignacio Velasco<sup>1</sup>, Charles Spence<sup>2</sup> y Jordi Navarra<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Fundació Sant Joan de Déu, Hospital de Sant Joan de (Barcelona, España)*

<sup>2</sup> *Crossmodal Research Laboratory, Department of Experimental Psychology, University of Oxford, OX1 3UD, Reino Unido.*

**Resumen:** Diversas circunstancias de carácter físico (por ejemplo, el hecho de que la luz y el sonido no viajen a la misma velocidad) y/o fisiológico (la señal auditiva tarda menos que la señal visual en llegar a la corteza cerebral primaria) pueden originar ciertos desajustes temporales entre la información sensorial sobre un mismo evento. Teniendo en cuenta la enorme cantidad de estímulos que nos invade en ciertos momentos, el poder re-agrupar las señales sensoriales que pertenecen a un mismo evento, a pesar de la asincronía, puede resultar un mecanismo adaptativo de primer orden. El cerebro humano parece capaz, en definitiva, de hacer reaparecer la simultaneidad allí donde no la hay. ¿Cómo lo logra? Dos fenómenos recientemente descubiertos –la ventriloquia temporal (según la cual, la aparición de un estímulo puede influir en el momento en el que percibimos otros) y la recalibración temporal (a través de la cual, el cerebro re-alinea las señales asincrónicas que provienen de distintas modalidades sensoriales)– atestiguan que la forma en que lo hace es mucho más activa y flexible de lo que hasta ahora se había imaginado.

**Palabras clave:** Integración multisensorial, percepción, asincronía audiovisual, ventana temporal, ventriloquia temporal, recalibración temporal.

**Title:** The perceptual system: That little time-machine.

**Abstract:** Various physical circumstances (for instance, the fact that light and sound do not travel at the same speed) and/or physiological factors (such as the fact that auditory signals are initially processed more rapidly than visual signals) give rise to small asynchronies between sensory signals pertaining to a specific multisensory event. Considering the large amount of sensory stimulation that bombards our senses at any given time, being able to re-group sensory signals that belong to the same event (even if they arrive asynchronously) can be highly adaptive. Indeed, the human brain is by-and-large able to maintain a simultaneous and coherent perception of the proximal events that occur in the environment. How is this achieved? Two recently discovered phenomena –temporal ventriloquism (where the presence of a stimulus in one modality influences the perceived time of occurrence of a stimulus in another modality) and temporal recalibration (where the brain realigns asynchronous signals from different sensory modalities)– confirm that the way in which the human brain maintains synchrony is more active and flexible than previously thought.

**Key words:** Multisensory integration, perception, audiovisual synchrony, temporal window, temporal ventriloquism, temporal recalibration.

### Introducción

Gran parte de los eventos que percibimos a lo largo de la vida poseen un carácter inherentemente multisensorial. Oír el batir de alas de un pájaro mientras lo vemos pasar delante nuestro o el contacto visto, sentido y oído de una pelota contra nuestro pie, en el campo de fútbol, son sólo dos ejemplos de acontecimientos donde, para su percepción, distintas modalidades sensoriales cabalgan al unísono. La integración, más que la simple adición (ver Stein y Meredith, 1993; Stein y Stanford, 2008), es, sin duda, uno de los principales mecanismos cerebrales que nos permiten generar una representación coherente del mundo y hacer frente al torrente de información al que estamos sometidos de forma continua. Quizás, el fenómeno que mejor representa la naturaleza integradora de nuestro cerebro sea la percepción del habla. En el bien conocido efecto McGurk (McGurk y MacDonald, 1976), la combinación de claves visuales y auditivas discordantes (por ejemplo, escuchar la sílaba /ba/ mientras se ven los movimientos articulatorios correspondientes a la sílaba [ga]) a menudo da lugar a un percepto nuevo (/da/). La cuestión de cómo se las ingenia el cerebro para llevar a cabo dicha operación aún genera, año tras año, una cantidad importante de investigación científica.

Nuestra experiencia cotidiana nos dice que la información multisensorial procedente de un mismo acontecimiento comparte un único instante (por ejemplo, la imagen en mo-

vimiento de unas manos dando una palmada y su correspondiente sonido). Podría decirse que la simultaneidad está ahí, ajena a nosotros, como una característica más del mundo en el que estamos sumergidos. Sin embargo, lejos de tratarse de un hecho objetivo, la percepción de la simultaneidad se debe, más que nada, a una “reconstrucción subjetiva”, por parte del cerebro. Éste pone en funcionamiento una serie de procesos de reajuste, adelantando o atrasando la información entrante, que bien podrían compararse con el trabajo de un relojero sintonizando las manijas de un reloj.

Aunque si bien es cierto que la propia concurrencia física de las señales debería proporcionar, según una visión *gibsoniana* de la percepción (Gibson, 1979), una impresión directa de simultaneidad entre estímulos multisensoriales, la perspectiva ecológica de Gibson no puede aportar una explicación lo suficientemente satisfactoria para aquellos casos en que a pesar de existir una asincronía física entre las señales, la simultaneidad percibida se mantiene. Dado que la asincronía multisensorial es más la norma que la excepción, es necesario apelar a una serie de procesos temporales adaptativos que intermedian entre el ambiente y el percepto final. A continuación, presentamos una breve revisión tanto de los modelos generales que se han postulado para la percepción del tiempo, como de los trabajos que, en los últimos años, nos han permitido empezar a descubrir cuáles son los mecanismos adaptativos que subyacen a los “reajustes temporales” de información sensorial.

### Principales modelos de percepción del tiempo

El tiempo es un concepto que desde siempre ha cautivado al ser humano. Filósofos, astrónomos y físicos se han pregun-

\* **Dirección para correspondencia [Correspondence address]:** Ignacio Velasco o Jordi Navarra, Fundació Sant Joan de Déu, Hospital de Sant Joan de Déu, Edifici Docent, C/ Santa Rosa, 39-57, planta 4ª, 08950 Esplugues – Barcelona (España). E-mail: [nacho.velmar@gmail.com](mailto:nacho.velmar@gmail.com); [jnavarrao@fsjd.org](mailto:jnavarrao@fsjd.org)

tado por la naturaleza de este fenómeno. Desde Aristóteles se ha venido concibiendo el tiempo desde un punto de vista externo al individuo: El tiempo es percibido del mismo modo que se percibe cualquier otro objeto de la Naturaleza.

No será hasta finales del siglo XVIII, cuando el concepto de tiempo se 'subjeticive', gracias al filósofo alemán Immanuel Kant, pasando a formar parte de la propia arquitectura y naturaleza del Ser Humano. Para Kant, el tiempo es una categoría formal *a priori*, innata, previa a toda sensación, pero que nos posibilita la percepción y, por ende, la comprensión del mundo que nos rodea. Será esta aportación Kantiana la que facilite posteriormente una aproximación psicológica en el estudio del tiempo.

Desde los primeros inicios de la Psicología ha habido una preocupación constante por los aspectos temporales de la percepción y la cognición humanas. Sin embargo, no será hasta estos últimos años cuando los psicólogos experimentales y los neurocientíficos se hayan empezado a plantear de una forma más sistemática cómo se codifica la información temporal en el cerebro (ver Eagleman et al., 2005). Las últimas investigaciones sobre el procesamiento temporal se han enmarcado en dos líneas básicas (Ivry y Schlerf, 2005; ver Correa, Lupiáñez, y Tudela, 2006 para una revisión más detallada). Presentamos a continuación, y de forma sintética, estas dos líneas.

### Modelos modulares

Así como los científicos de la visión hablan de mecanismos cerebrales especializados para la percepción del color o el movimiento, los modelos modulares de la percepción temporal asumen la existencia de algún tipo de mecanismo de carácter general encargado de la codificación y procesamiento de las relaciones temporales entre los eventos (ver, por ej., Gibbon y Allen, 1977). Esta idea se basa en la observación de que cuantificamos el paso del tiempo de la misma manera en cada modalidad sensorial distinta. La facilidad que tenemos para comparar el intervalo de tiempo de un tono con el de un flash o el de la presión de una tecla se debería a la actuación de un mecanismo central. Dicho mecanismo estaría localizado, según algunos autores, en una área cerebral específica y tendría como función cronometrar, como si de un reloj interno se tratara, los intervalos temporales entre eventos (Yamazaki y Tanaka, 2005). Una de las principales estructuras cerebrales que se ha postulado como posible base de este mecanismo central es el cerebelo (Ivry, Spencer, Zelaznik y Diedrichsen, 2002), aunque ciertos investigadores destacan la importancia de los ganglios basales o el área motora suplementaria, entre otras (Rao, Mayer y Harrington, 2001; Coull, Vidal, Nazarian y Macar, 2004, respectivamente).

Una corriente derivada de esta línea teórica considera que la codificación temporal se produce a través de la captación, por parte de este reloj, de ciertos procesos fisiológicos rítmicos u oscilatorios (ver Miall, 1989). Otros, sin embargo, asumen que los códigos temporales son trasladados a un

'código espacial': El intervalo entre la activación de distintas zonas cerebrales sería utilizado para juzgar tanto la duración como el orden de los sucesos.

### Modelos intrínsecos

Los llamados 'modelos intrínsecos' (ver Ivry y Spencer, 2004) asumen que no hay ningún área cerebral central especializada en la representación de la información temporal, sino que dicha representación acontece a lo largo y ancho de una red neural. El tiempo es codificado inherentemente en las propias dinámicas neuronales de cada circuito cerebral. El procesamiento temporal sería específico para cada modalidad y se computaría de forma local en diferentes regiones cerebrales, dependiendo de las demandas específicas de la tarea (Mauk y Buonomano, 2004). Así, por ejemplo, la percepción de la duración de un determinado estímulo visual depende, según estos modelos, de las dinámicas neuronales en las regiones visuales, mientras que el procesamiento temporal de un evento auditivo de la misma duración acontecerá en la corteza auditiva. Pero ¿qué ocurre cuando el cerebro recibe información combinada de varias modalidades sensoriales a la vez?, ¿cómo se computa la información temporal asociada a la percepción multisensorial? Estudios recientes muestran cierta interconexión entre, por ejemplo, áreas cerebrales dedicadas al procesamiento visual, auditivo y táctil (ver Schroeder y Foxe, 2004). Además, señales provenientes de estas áreas parecen confluír en áreas 'heteromodales' como el surco temporal superior (STS; ver Beauchamp et al., 2004). El intervalo entre la llegada de señales neuronales de distintas modalidades (o el momento en el que unas influyen a las otras, durante el procesamiento) bien podría proporcionar, de una forma intrínseca, información acerca de la temporalidad entre estímulos sensoriales.

### Causas físicas y neuronales de asincronía audiovisual

La co-ocurrencia de las señales sensoriales es, la mayor parte de las ocasiones, tan sólo aparente. Todos sabemos que la luz y el sonido viajan a velocidades diferentes; mientras que la luz lo hace a, aproximadamente, 300.000.000 m./seg., el sonido tan sólo alcanza los 340 m./seg. Este desfase se observa, a veces de forma exagerada, cuando escuchamos el retumbar de un trueno tras haber avistado previamente la luz lejana de un relámpago o cuando el sonido de una raqueta golpeando la pelota llega, a las filas más alejadas del campo de juego, con un ligero retraso. Estas asincronías temporales se cancelan entre sí cuando los estímulos se encuentran a menos de 10 metros de distancia de nosotros, en el llamado "horizonte de simultaneidad"; pero, cuando los eventos audiovisuales se sitúan más allá de ese horizonte, el cerebro tiene que poner en funcionamiento una serie de mecanismos de re-alineamiento temporal. Ello le permite recuperar, en cierta medida, la simultaneidad original entre las señales mul-

tisensoriales (ver Alais y Carlile, 2005; Spence y Squire, 2003).

Otros factores neurofisiológicos parecen obstaculizar, también, la congruencia temporal entre modalidades sensoriales. Se sabe, por ejemplo, que aunque dos estímulos, uno visual y el otro auditivo, lleguen a la vez a sus respectivos receptores sensoriales, las señales auditivas alcanzan la corteza cerebral entre 30 y 50 milisegundos antes que las visuales. Estas diferencias se deben, primordialmente, a las particularidades fisiológicas de transducción y procesamiento de la información de cada modalidad (Schroeder y Foxe, 2004). Por un lado, la transducción sensorial es mucho más compleja, y por ende ocupa más tiempo, en el sistema visual que en el auditivo. La transducción sensorial en “código neuronal” ocurre químicamente, en la visión, y en varios pasos: la señal tiene que atravesar toda la retina hasta alcanzar las capas finales, y retornar a las capas intermedias, donde se transformará en pulsos neuronales. Sin embargo, en la audición, dicha transducción se produce, de forma más directa (mecánicamente), en la cóclea. Por otra parte, bien es sabido que las diversas vías aferentes que conectan el ojo con la respectiva corteza visual primaria son más largas que las que parten del oído a la corteza auditiva (ver, por ej., Goldstein, 2002). Ello podrían explicar, en parte, porqué los estímulos visuales han de preceder ligeramente a los estímulos auditivos para ser percibidos como simultáneos. Aunque este desfase “neurológico” entre modalidades puede cancelar la asincronía que nos impone el medio hasta cierto punto, a veces es necesario poner en marcha otros mecanismos, quizá más activos, para re-alinear de alguna forma las señales.

### Mecanismos cerebrales para la compensación de asincronía

Todo fenómeno multisensorial posee, como hemos visto, una cierta asincronía temporal inherente. A pesar de este pequeño *handicap*, el cerebro humano (y, probablemente, el de otros animales) puede compensar estos desfases de forma natural. Diversos investigadores han postulado la existencia de una “ventana temporal” dentro de la cual los estímulos (especialmente los que aparecen, aproximadamente, en la misma localización espacial) son evaluados (e integrados) por el sistema perceptivo como si pertenecieran a un mismo evento (ver, por ej., McGrath y Summerfield, 1985; Navarra et al., 2005). La existencia de dicha ventana ha sido documentada, sobre todo, en la integración audiovisual del habla. Se ha demostrado, por ejemplo, que la señal auditiva del habla puede presentarse unos 250 milisegundos después de la señal visual (esto es, los movimientos articulatorios de la boca) sin que la integración de ambas resulte muy afectada (ver, por ejemplo, Munhall, Gribble, Sacco y Ward, 1996). Cuando la información auditiva precede a la información visual, tan sólo toleramos un desfase de, aproximadamente, 80 ms. Esta asimetría, que observamos incluso en recién nacidos (Lewkowicz, 1996), demuestra que el cerebro se ha

especializado, de algún modo, en procesar asincronías más “familiares” (dado que, como se ha dicho, la información visual suele llegarnos antes). La existencia de dicha ventana temporal no sólo se ha documentado con estímulos lingüísticos, como se ha visto, sino también con estímulos menos complejos como pueden ser un simple haz de luz y un tono, tanto en animales (ver King y Palmer, 1985; Meredith, Nemitz y Stein, 1987) como en humanos (Lewald, Ehrenstein y Guski, 2001).

Ahora bien, nuestro sistema perceptivo no es completamente rígido e inflexible. Investigaciones recientes han puesto de manifiesto que los estímulos asincrónicos que caen dentro (o cerca) de la citada ventana temporal pueden integrarse gracias a ciertos mecanismos de re-alineación (o recalibración) temporal (ver Fujisaki, Shimojo, Kashino y Nishida, 2004; Hanson y Heron, 2008; Morein-Zamir, Soto-Faraco y Kingstone, 2003; Navarra, Soto-Faraco y Spence, 2007; Navarra et al., 2005; Vatakis, Navarra, Soto-Faraco y Spence, 2007; Vroomen y de Gelder, 2004; Vroomen, Keetels, de Gelder y Bertelson, 2004). Dos fenómenos concretos atestiguan la existencia de mecanismos de esta índole: la ventriloquia temporal y la adaptación a la asincronía multisensorial.

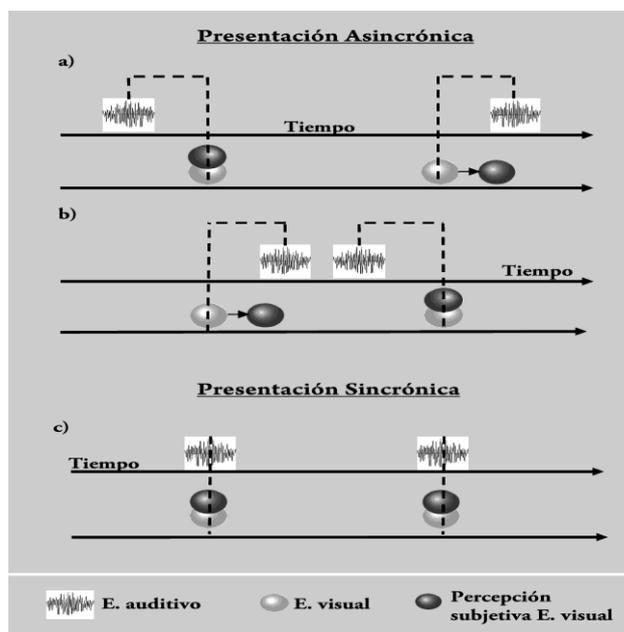
#### La ventriloquia temporal

Al igual que un estímulo (la voz humana, por ejemplo) puede percibirse en una localización distinta a la original, a través del fenómeno conocido como ventriloquia espacial, el momento en el que percibimos un determinado estímulo también puede alterarse mediante la presentación de otros. Morein-Zamir y sus colaboradores sugirieron que dos estímulos visuales (dos luces) se pueden “alejar” o “acercar” subjetivamente en el tiempo dependiendo de la presentación (en principio, irrelevante) de dos sonidos (Morein-Zamir, Soto-Faraco y Kingstone, 2003). En los experimentos incluidos en este trabajo, era más fácil percibir el orden en el que habían aparecido las dos luces, cuando un sonido antecedía a la primera luz y el otro acontecía después de la segunda, que, por ej., cuando los dos sonidos aparecían al mismo tiempo que las dos luces (ver Fig. 1). Este descubrimiento parece sugerir la existencia de ventriloquia en el plano temporal, donde un evento auditivo “arrastra” el instante en el que percibimos uno visual (ver también Fendrich y Corballis, 2001; Repp y Penel, 2002; Vroomen y de Gelder, 2004). Pero, ¿son los dos sonidos los que contribuyen al efecto, o es tan sólo uno de ellos? Tal y como Morein-Zamir et al. (2003) demostraron en experimentos subsiguientes, solamente el segundo sonido, es decir, aquel que aparecía después de la segunda luz, era el único capaz de elicitar dicha “captura” temporal del estímulo visual. Ello podría deberse a la misma naturaleza asimétrica de la ventana temporal de integración.

Sin embargo, registros electrofisiológicos en un estudio utilizando potenciales evocados (ERPs) podrían contradecir la hipótesis del “desplazamiento temporal” de los estímulos

visuales. Stekelenburg y Vroomen (2005) no observaron movimiento alguno en las latencias de los ERPs visuales, tal y como esperaríamos guiándonos por la hipótesis del “desplazamiento temporal”, sino un aumento en su amplitud. Sin duda alguna, el clarificar y entender los mecanismos neurales subyacentes de la ventriloquia temporal, así como la posible intervención de otros factores (por ej., de orden *atencional*) en

este fenómeno es aún una cuenta pendiente. En este sentido, un posible paso a seguir podría centrarse en analizar los posibles efectos de la primacía de entrada (en inglés, *prior entry*; ver Shore, Spence y Klein, 2001), según el cuál los estímulos atendidos se perciben antes en el tiempo que los estímulos que no lo son, en los mecanismos temporales descritos.



**Figura 1: Ventriloquia temporal.** En una tarea de juicio de orden temporal entre dos luces, cuando un sonido (en principio, irrelevante) antecede a la primera luz y el otro va después de la segunda, el rendimiento en la tarea mejora (a) con respecto a cuando los dos sonidos acontecen dentro del intervalo temporal de los estímulos visuales (b) o con respecto a cuando sonido y luz son presentados de forma sincrónica (c). Estos resultados sugieren una “ventriloquia en el tiempo” en donde los estímulos auditivos “arrastrarían” a los visuales a su espacio temporal. Nótese la contribución desigual de los sonidos al efecto, en donde tan sólo cuando la señal auditiva acontece detrás de la visual es cuando el sonido es capaz de desplazar a la luz, debido probablemente a la naturaleza asimétrica de la ventana temporal de integración multisensorial.

### Mecanismos de recalibración temporal

En los últimos años, ha surgido otra prometedora línea de investigación sobre la capacidad de adaptación del sistema perceptivo para compensar pequeñas asincronías temporales. Distintos trabajos sugieren que la exposición continuada a una determinada asincronía multisensorial puede modular la forma en que nuestro sistema perceptivo procesa nueva información sensorial. Hasta la fecha, se han descrito dos mecanismos a través de los cuales la mente humana llevaría a cabo dicha adaptación: la re-alineación de las señales entrantes y el ensanchamiento de la ventana temporal para la integración multisensorial. Al parecer, y según ciertos autores (ver Navarra et al., 2005), estos dos mecanismos podrían funcionar en paralelo.

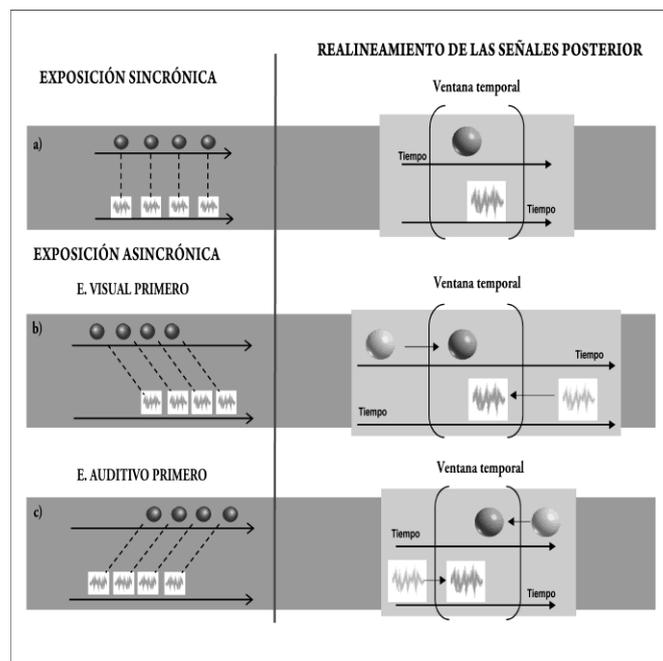
El instante en el cual dos estímulos se perciben de forma simultánea se conoce, en psicofísica, como “punto de simultaneidad subjetiva” o PSS. En “condiciones normales”, los estímulos visuales deben preceder a los estímulos auditivos

por entre 15 y 80 ms. para ser percibidos simultáneamente. Esto es debido, como apuntábamos antes, al hecho de que, a nivel neurofisiológico, la información auditiva se procesa antes que la visual. Sin embargo, como señalan ciertos estudios, el PSS puede modularse según convenga. Se ha demostrado que, por ejemplo, una simple exposición de sólo 3 minutos a una asincronía audiovisual fija (de, por ejemplo, 235 ms.) es más que suficiente para hacer variar el PSS hacia un nuevo valor (Fujisaki et al. 2004; Vatakis et al., 2007; Vroomen et al., 2004). Más sorprendente aún, es el hecho de que dicho cambio se produce en la dirección en que la pre-exposición ha tenido lugar. Así, si, durante esta pre-exposición, los estímulos visuales han aparecido 235 ms. antes que los auditivos, es necesario, cuando los sujetos juzgan la simultaneidad de nuevos pares de estímulos audiovisuales, presentar la señal visual ligeramente antes de lo normal, con respecto a la señal auditiva, para que éstas sean percibidas como coincidentes en un mismo instante. Ahora bien, si durante la pre-exposición son los estímulos auditivos

los que anteceden a los visuales, el estímulo auditivo tendrá que preceder al visual (ver Fig. 2). Este descubrimiento es consistente con la hipótesis de que el cerebro *re-alinea las señales audiovisuales en el tiempo* con el fin de incrementar la sensación de simultaneidad.

Un descubrimiento reciente (Navarra, Hartcher-O'Brien, Piazza y Spence, 2009; ver también Di Luca, Machilla y Ernst, 2009) ha permitido conocer más detalles sobre este

mecanismo de recalibración temporal. Estos autores sugieren que es la señal auditiva la que se re-alinea con respecto a la señal visual como resultado de una adaptación a estímulos audiovisuales desincronizados. Esto, probablemente, se deba al hecho de que la información visual acerca de cuando y donde ocurren los eventos es, por lo general, más precisa que la información auditiva (que nos llega, en muchos casos, con cierto retraso).

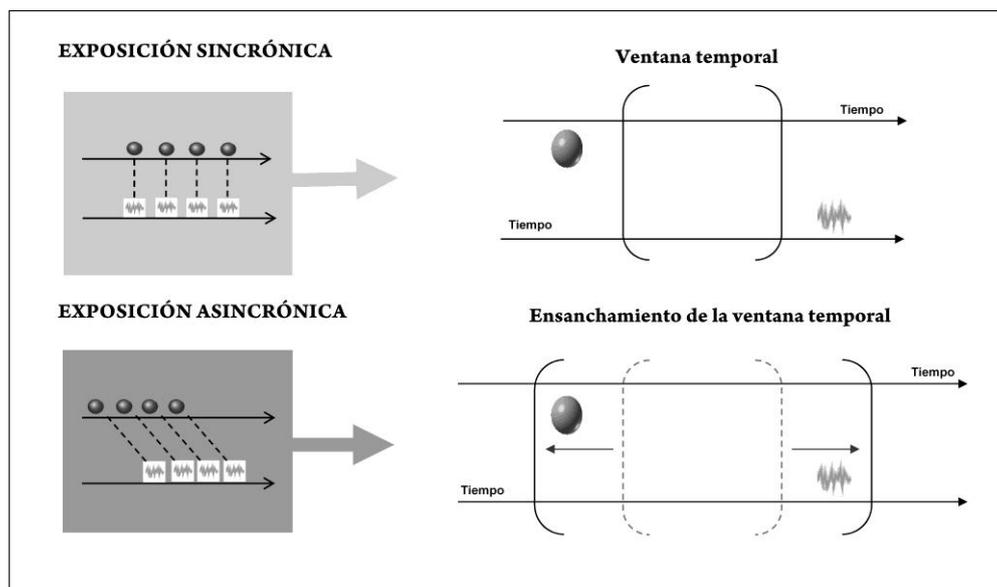


**Figura 2: Re-alineamiento de las señales sensoriales entrantes.** La exposición a una estimulación asincrónica de, por ej., unos 3 minutos, puede hacer variar nuestro juicio posterior sobre el momento en que dos estímulos audiovisuales son percibidos como simultáneos: (b) si durante la exposición asincrónica el estímulo visual ha antecedido al auditivo, ante nuevos pares de estímulos la luz tendrá que ser presentada previa al sonido para que ambos sean juzgados como simultáneos. (c) Por el contrario, si en la pre-exposición es el sonido el que ha precedido al estímulo visual, posteriores estímulos audiovisuales serán valorados como concurrentes cuando sea el sonido el que anteceda a la señal visual. Estos hallazgos sugieren que el cerebro re-alinea de forma activa las señales sensoriales entrantes, adaptándose a las asincronías de nuestro entorno.

Los mecanismos de recalibración temporal poseen un cierto grado de generalización, observándose entre diferentes clases de estímulos, de mayor o menor nivel de complejidad (desde tonos simples y haces de luz al habla; ver Vatakis et al., 2007) e incluso en ilusiones perceptivas que dependen de la simultaneidad audiovisual para su generación (ver Fujisaki et al., 2004). Además, este fenómeno parece afectar no sólo al procesamiento temporal de las modalidades pre-expuestas, sino también, aunque con ciertos límites, a la interacción entre otras modalidades sensoriales (Hanson y Heron, 2008).

Se ha visto que la recalibración audiovisual ante estímulos desincronizados tan complejos como una persona hablando o ejecutando una pieza musical puede influenciar el modo en que procesamos otros estímulos más simples (Navarra et al., 2005). Navarra y colaboradores han reportado como una exposición continuada a un estímulo audiovisual complejo no sincrónico puede incrementar la “ventana

temporal de integración”, de forma que estímulos cada vez más alejados en el tiempo son percibidos como simultáneos. Esto ocasiona que señales sensoriales con tiempos de llegada más largos entre ellas continúen siendo evaluadas por la mente como co-ocurrentes. Es el fenómeno conocido como *ensanchamiento de la ventana temporal para la integración* (ver Fig. 3). El hecho de que el efecto también se observe cuando se combinan otras modalidades sensoriales como el tacto y la audición (Navarra et al., 2007) podría sugerir que se trata de un principio multisensorial de carácter general. Sin embargo, el dispositivo por el cual la ventana se ensancha no siempre se pone en funcionamiento. Así, por ejemplo, cuando la asincronía audiovisual previa es demasiado grande (por ej., 1000 ms. en el caso del habla; ver Navarra et al., 2005) tal ensanchamiento no tiene lugar. A la luz de estos resultados, podría decirse que la mente armoniza simultaneidades sólo cuando le es “funcionalmente necesario”.



**Figura 3: Ensanchamiento de la ventana temporal.** Una exposición continua, de, por ej., 3 minutos, a una estimulación audiovisual asincrónica origina un ensanchamiento de la ventana para la integración multisensorial, tras el cual estímulos cada vez más alejados en el tiempo se siguen percibiendo como simultáneos.

Este fenómeno vendría a complementar el reajuste temporal de la señales, aportando un mayor poder adaptativo al cerebro. Se ha sugerido que ambos mecanismos, el ensanchamiento y el re-alineamiento temporal, podrían activarse al mismo tiempo, según ciertas demandas ambientales, y trabajar en paralelo. Sea como fuere, el descubrimiento de la maleabilidad de la ventana temporal sugiere la enorme flexibilidad con la que cuenta el cerebro en su lucha por generar una representación coherente del mundo.

## Futuras direcciones

El estudio de los mecanismos cerebrales que subyacen a la reducción de la asincronía multisensorial genera aún nuevos interrogantes que futuras investigaciones deberán esclarecer. Por una parte, será necesario desvelar, a un nivel más profundo y con mayor detalle, cómo funcionan estos mecanismos. Ha llegado, por tanto, el momento de tratar de ver qué hay detrás de, por ejemplo, el re-alineamiento temporal entre modalidades sensoriales. No sabemos si éste implica un verdadero cambio en la velocidad de transmisión neuronal o si

hay cierta mediación por parte de un centro de carácter heteromodal.

Por otra parte, la investigación llevada a cabo en este ámbito se ha desarrollado desde una perspectiva mayoritariamente psicofísica. Han sido pocos los estudios que han intentado profundizar en los mecanismos neuronales implicados en estos fenómenos. Ciertas técnicas de neuroimagen y, sobre todo, el registro de la actividad eléctrica del cerebro podrían ser de gran utilidad en este sentido. Por ejemplo, cabría preguntarse a qué nivel del procesamiento cognitivo se producen dichos fenómenos: ¿Ocurren a una etapa temprana, en la corteza sensorial primaria, o de forma más tardía cuando la información procedente de los diferentes sentidos ya se ha integrado en la corteza asociativa?

Para terminar, cabría decir que entender en mayor profundidad las relaciones no sólo a un nivel experimental sino también teórico entre la ventriloquia y la recalibración temporal, así como aportar un marco explicativo coherente que los abarque a los dos supone, sin duda, uno de los retos pendientes que la investigación psicológica en esta área deberá afrontar en años venideros.

## Referencias

- Alais, D. y Carlile, S. (2005). Synchronizing to real events: Subjective audiovisual alignment scales with perceived auditory depth and speed of sound. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 102, 2244-2247.
- Eagleman, D. M., Tse, P. U., Buonomano, D. V., Janssen, P., Nobre, A. C. y Holcombe, A. O. (2005). Time and the brain: How subjective time relates to neural time. *The Journal of Neuroscience*, 25, 10369-10371.
- Correa, A., Lupiáñez, J. y Tudela, P. (2006). La percepción del tiempo: Una revisión desde la Ciencia Cognitiva. *Cognitiva*, 18, 145-168.
- Coull, J.T., Vidal, F., Nazarian, B. y Macar, F. (2004). Functional anatomy of the attentional modulation of time estimation. *Science*, 303, 1506-1508.
- Di Luca, M., Machulla, TK. y Ernst, MO. (2009). Recalibration of multisensory simultaneity: Cross-modal transfer coincides with a change in perceptual latency. *Journal of Vision*, 12, 1-16.
- Ivry, R.B., Spencer, R.M., Zelaznik, H.N. y Diedrichsen, J. (2002). The cerebellum and event timing. *Annals of New York Academy of Sciences*, 978, 302-317.
- Ivry, R. B. y Spencer, R. M. C. (2004). The neural representation of time. *Current Opinion in Neurobiology*, 14, 225-232.
- Ivry, R. y Schelerf, J. (2008). Dedicated and intrinsic models of time perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 12, 273-280.

- Fendrich, R. y Corballis, P. M. (2001). The temporal cross-capture of audition and vision. *Perception & Psychophysics*, 63, 719-725.
- Frens, M., Van Opstal, A. y Van der Willigen, R. (1995). Spatial and temporal factors determine auditory-visual interactions in human saccadic eye movements. *Perception & Psychophysics*, 57, 802-816.
- Fujisaki, W., Shimojo, S., Kashino, M. y Nishida, S. (2004). Recalibration of audiovisual simultaneity. *Nature Neuroscience*, 7, 773-778.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Cornell University: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gibbon, J. y Allen, L. (1977). Scalar expectancy theory and Weber's law in animal timing. *Psychological Review*, 84, 279-325.
- Goldstein, E. B. (2002). *Sensation and perception*. Belmont, CA: Wadsworth/Thomson Learning.
- Hanson, V. M. y Heron, J. (2008). Recalibration of perceived time across sensory modalities. *Experimental Brain Research*, 185, 347-352.
- King, A. J. y Palmer, A. R. (1985). Integration of visual and auditory information in bimodal neurones in the guinea-pig superior colliculus. *Experimental Brain Research*, 60, 492-500.
- Lewald, J., Ehrenstein, W. H. y Guski, R. (2001). Spatio-temporal constraints for auditory-visual integration. *Behavioural Brain Research*, 121, 69-79.
- Lewkowicz, D. J. (1996). Perception of auditory-visual temporal synchrony in human infants. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 1094-1106.
- Mauk, M. D. y Buonomano, D. V. (2004). The neural basis of temporal processing. *Annual Reviews in Neuroscience*, 27, 307-340.
- McGrath, M. y Summerfield, Q. (1985). Intermodal timing relations and audio-visual speech recognition by normal-hearing adults. *Journal of the Acoustical Society of America*, 77, 678-685.
- McGurk, H. y MacDonald, J. (1976). Hearing lips and seeing voices. *Nature*, 265, 746-748.
- McLeod, A. y Summerfield, Q. (1987). Quantifying the contribution of vision to speech perception in noise. *British Journal of Audiology*, 21, 131-141.
- Meredith, M. A., Nemitz, J. W. y Stein, B. E. (1987). Determinants of multisensory integration in superior colliculus neurons. I. Temporal factors. *The Journal of Neuroscience*, 7, 3215-3229.
- Miall, R.C. (1989) The storage of time intervals using oscillating neurons. *Neural Computation*, 1, 359-371.
- Morein-Zamir, S., Soto-Faraco, S. y Kingstone A. (2003). Auditory capture of vision: Examining temporal ventriloquism. *Cognitive Brain Research*, 17, 154-163.
- Munhall, K. G., Gribble, P., Sacco L. y Ward, M. (1996). Temporal constraints on the McGurk effect. *Perception & Psychophysics*, 58, 351-362.
- Navarra, J., Hartcher-O'Brien, J., Piazza, E., Spence, C. (2009). Adaptation to audiovisual asynchrony modulates the speeded detection of sound, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 9169-9173.
- Navarra, J., Soto-Faraco, S. y Spence, C. (2007). Adaptation to audiotactile asynchrony. *Neuroscience Letters*, 413, 72-76.
- Navarra, J., Vatakis, A., Zampini, M., Soto-Faraco, S., Humphreys, W. y Spence, C. (2005). Exposure to asynchronous audiovisual speech extends the temporal window for audiovisual integration. *Cognitive Brain Research*, 25, 499-507.
- Rao, S.M., Mayer, A.R. y Harrington, D.L. (2001). The evolution of brain activation during temporal processing. *Nature Neuroscience*, 4, 317-323.
- Repp, B. H. y Penel, A. (2002). Auditory dominance in temporal processing: New evidence from synchronization with simultaneous visual and auditory sequences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28, 1085-1099.
- Schroeder, C. E. y Foxe, J. J. (2004). Multisensory convergence in early cortical processing. In G. A. Calvert, C. Spence, y B. E. Stein (Eds.), *The handbook of multisensory processes* (pp. 295-309). Cambridge MA: MIT Press.
- Spence, C., Shore, D. I., & Klein, R. M. (2001). Multisensory prior entry. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 799-832.
- Spence, C. y Squire, S. (2003). Multisensory integration: Maintaining the perception of synchrony. *Current Biology*, 13, 519-521.
- Stein, B. E. y Meredith, M. (1993). *The merging of the senses*. Cambridge MA: MIT Press.
- Stein, B. E. y Standford, T. R. (2008). Multisensory integration: Current issues from the perspective of the single neuron. *Nature Reviews Neuroscience*, 9, 255-266.
- Stekelenburg, J. J. y Vroomen, J. (2005). An event-related potential investigation of the time-course of temporal ventriloquism. *Neuroreport*, 16, 641-644.
- Vatakis, A., Navarra, J., Soto-Faraco, S. y Spence, C. (2007). Temporal recalibration during audiovisual speech perception. *Experimental Brain Research*, 181, 173-181.
- Vroomen, J. y de Gelder, B. (2004). Temporal ventriloquism: Sound modulates the flash-lag effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30, 513-518.
- Vroomen, J., Keetels M., de Gelder, B. y Bertelson, P. (2004). Recalibration of temporal order perception by exposure to audio-visual asynchrony. *Cognitive Brain Research*, 22, 32-35.

(Artículo recibido: 15-1-2009; aceptado: 9-4-2010)