

ANUARIO DE PSICOLOGIA
Núm. 29 - 1983 (2)

MODELOS DE ATENCIÓN: MODELO DE CANAL
ÚNICO, DE DOS CANALES, Y MODELO MIXTO

VICENTE PONSODA GIL

Departamento de Psicología Matemática
Universidad Complutense de Madrid

Vicente Ponsoda Gil
Departamento de Psicología Matemática
Facultad de Psicología
Universidad Complutense de Madrid
Campus de Somosaguas
Madrid-23

INTRODUCCIÓN

En un reciente experimento (Ponsoda, 1982), hemos obtenido las siguientes conclusiones: a) El reconocimiento de un dígito, presentado entre quince distractores, depende de la información que se da al sujeto sobre la probabilidad de que el dígito a reconocer aparezca en cada una de las dos partes que constituyen el espacio de observación. b) Un modelo matemático de atención, modelo M4 en Ponsoda (1982), resultado de desarrollar el CAM (Capacity Allocation Model) propuesto por Shaw y Shaw (1977), explica razonablemente bien los resultados obtenidos por siete de los diez sujetos de la muestra; sin embargo, tan sólo en un sujeto se obtuvo ajuste al CAM.

En síntesis, el modelo M4 supone que:

- 1) El sujeto posee una capacidad de atención finita, C .
- 2) Puede haber diferencias entre las partes del espacio de observación en cuanto a su visibilidad.
- 3) Toda la capacidad C es repartida entre las dos partes del espacio de observación en función de la probabilidad que cada parte tiene de presentar el dígito a reconocer.
- 4) El rendimiento (porcentaje de dígitos correctamente reconocidos) en una parte del espacio de observación viene dado por la función $1 - (1-\alpha) e^{-c v}$, siendo α la probabilidad de respuesta correcta cuando se responde al azar; y siendo c y v , respectivamente, la capacidad asignada por el sujeto y la visibilidad específica de la parte del espacio de observación a la que nos estamos refiriendo.

Sin embargo, el modelo M4 es poco explícito respecto a cómo se producen los efectos de la atención. En este sentido, considerando cada una de las dos partes del espacio de observación como un canal¹, cabe preguntarse si los resultados obtenidos por Ponsoda (1982) pueden deberse a:

- a) La consideración en cada ensayo de la información presente en un canal, y sólo uno: Modelos de canal único.
- b) La consideración simultánea, aunque quizás con desigual eficacia, de ambos canales: Modelos de dos canales.
- c) La realización de algunos ensayos con la estrategia "a" y el resto con la "b": Modelos mixtos.

En el presente trabajo se desarrollan algunos de estos modelos, contrastables con los datos de Ponsoda (1982), con el siguiente doble objetivo:

- 1) Estudiar si explican los resultados obtenidos por los tres sujetos en los que no hubo ajuste al modelo M4.

1. Canal se utiliza aquí con el sentido habitual en los trabajos sobre atención, y no en su sentido preciso de la teoría de sistemas lineales.

2) Estudiar la compatibilidad entre los nuevos modelos y el modelo M4 en los sujetos cuyos resultados sí fueron explicados por dicho modelo M4. En particular, se pretende esclarecer el significado de "asignar más o menos atención a una u otra parte del espacio de observación".

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El procedimiento ha sido detallado en otro lugar (Ponsoda, 1982), por lo que nos referiremos únicamente a aquellas características que permitan una mejor comprensión de los modelos a desarrollar.

La sesión experimental constó de 360 ensayos aproximadamente, distribuidos en bloques de 60 ensayos. En cada ensayo el sujeto debe identificar el único dígito (un elemento del conjunto $\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$) que, entre quince letras, aparece en uno de los dos canales. Cada ensayo pertenece a una de las siguientes cinco condiciones:

Condición 1: El sujeto sabe que va a presentársele el dígito en el canal 1 y que, por lo tanto, no se le puede presentar en el canal 2. Es decir, el sujeto sabe que el dígito va a aparecer en el canal 1 (2) con probabilidad 1 (0).

Condición 2: El sujeto sabe que el dígito va a aparecer en el canal 1 (2) con probabilidad 0 (1).

Condición 3: El sujeto sabe que el dígito va a aparecer en el canal 1 (2) con probabilidad 0,5 (0,5).

Condición 4: El sujeto sabe que el dígito va a aparecer en el canal 1 (2) con probabilidad 0,2 (0,8).

Condición 5: El sujeto sabe que el dígito va a aparecer en el canal 1 (2) con probabilidad 0,8 (0,2).

MODELOS DE ATENCIÓN

Modelo de canal único

En el modelo de canal único, en lo sucesivo llamado modelo CU, suponemos que en todos y en cada uno de los ensayos el sujeto atiende y extrae información de sólo una parte del espacio de observación.

Sea θ_i ($i: 1, 2, \dots, 5$) la probabilidad de que, en un ensayo que pertenezca a la condición "i", el sujeto atienda exclusivamente al canal 1. Supondremos que, en cada ensayo, se atiende siempre a uno de los dos canales. En consecuencia, $1 - \theta_i$ será la probabilidad de que, en un ensayo que pertenezca a la condición "i", el sujeto atienda exclusivamente al canal 2.

Sea $P(11)$ ($P(12)$) la probabilidad de que, en cualquier ensayo, el sujeto identifique correctamente el dígito presentado, supuesto que apareció en el canal 1 (2) y que atendió exclusivamente a ese canal. Supondremos que $P(11)$ y $P(12)$ no dependen de la condición a la que corresponde el ensayo. Es decir, la mayor o menor confianza que tenga el sujeto

acerca del canal en el que aparecerá el dígito afecta al parámetro θ_i , pero no a las probabilidades de identificar el dígito, supuesto que se atiende al canal en el que se presenta. $P(I1)$ y $P(I2)$ no han de coincidir necesariamente. En particular, diferirán si la visibilidad de ambos canales no es la misma.

Consideremos un ensayo que pertenece a la condición "i" ($i: 1, 2, \dots, 5$). Según se ha dicho, el dígito a reconocer puede presentarse con cierta probabilidad en el canal 1 ó en el 2. Supuesto que el dígito aparece en el canal 1, el sujeto puede atender al canal 1 (con probabilidad θ_i) o al canal 2 (con probabilidad $1-\theta_i$). Si atiende al canal 1, identificará el dígito con probabilidad $P(I1)$ y no lo identificará con probabilidad $1-P(I1)$. Si atiende al canal 2, puesto que el dígito apareció en el canal 1, tendrá que emitir una respuesta al azar, que será correcta con probabilidad $1/9$; pues, en cada ensayo, de las nueve respuestas permitidas sólo una es correcta. Supuesto que el dígito aparece en el canal 2, el sujeto puede atender al canal 1 (con probabilidad θ_i) o al canal 2 (con probabilidad $1-\theta_i$). Si atiende al canal 1, identificará el dígito con probabilidad $1/9$; pues tendrá que emitir una respuesta al azar. Si atiende al canal 2, identificará el dígito con probabilidad $P(I2)$. Las posibilidades anteriormente comentadas se muestran en la figura 1.

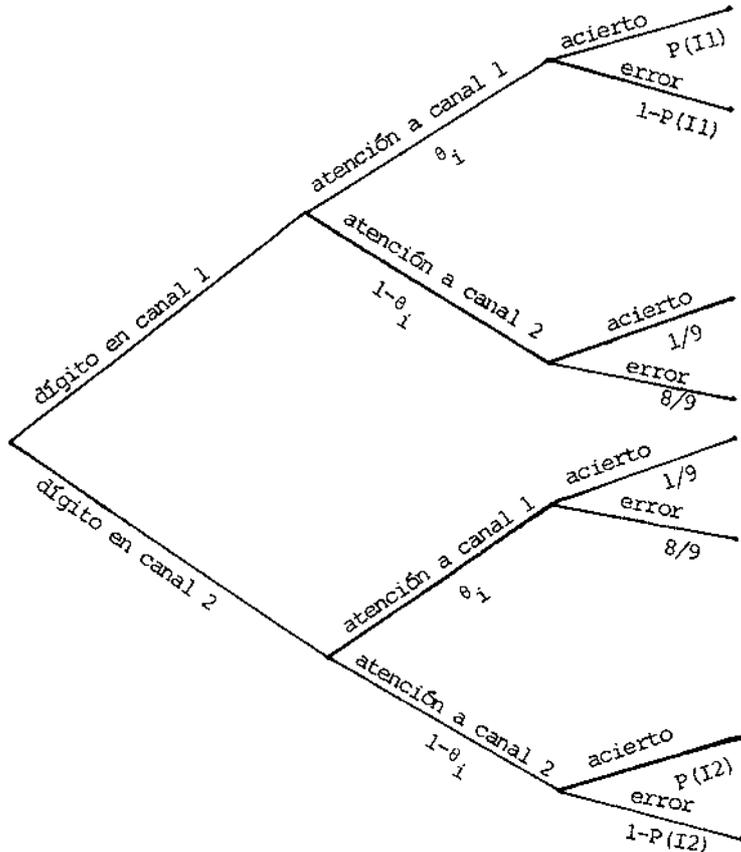


Figura 1. Posibilidades que considera el modelo de canal único en un ensayo perteneciente a la condición "i" ($i: 1, 2, \dots, 5$). El significado de sus parámetros se encuentra en el texto.

Entonces, supuesto que el dígito aparece en el canal 1, la probabilidad de que un sujeto responda correctamente en un ensayo que pertenece a la condición "i" ($i: 1, 3, 4, 5$)², $P_i(C | 1)$, será

$$P_i(C | 1) = \theta_i P(I1) + (1 - \theta_i) (1/9) = \theta_i [P(I1) \cdot (1/9)] + 1/9. \quad [1]$$

Similarmente, supuesto que el dígito aparece en el canal 2, en un ensayo que pertenece a la condición "i" ($i: 2, 3, 4, 5$)², tendríamos

$$P_i(C | 2) = (1 - \theta_i) P(I2) + \theta_i (1/9) = \theta_i [(1/9) \cdot P(I2)] + P(I2). \quad [1']$$

Nótese que, con el supuesto adicional de que en las condiciones 1 y 2 el sujeto atiende siempre al canal en el que, con certeza, va a presentarse el dígito, $P(I1)$ ($P(I2)$) puede ser estimado mediante la proporción de respuestas correctas obtenidas en el canal 1 (2) de la condición 1 (2). En efecto, si el sujeto sabe que el dígito va a aparecer en el canal 1, por el supuesto adicional anterior, $\theta_1 = 1$; por lo tanto, $P_1(C | 1) = P(I1)$, aplicando [1]. Similarmente, si el sujeto sabe que el dígito va a aparecer en el canal 2, $\theta_2 = 0$; por lo tanto, $P_2(C | 2) = P(I2)$, aplicando [1'].

Realizada la estimación anterior, el modelo CU se ha de contrastar en las tres condiciones (3, 4 y 5) en las que existe incertidumbre respecto al canal en el que se presentará el dígito a identificar. Tres posibilidades merecen especial consideración:

a) Puede existir independencia entre las tres condiciones y los valores θ_i . En tal caso, el sujeto atiende al canal 1 con la misma probabilidad en las tres condiciones. Es decir, $\theta_3 = \theta_4 = \theta_5$.

b) Puede ocurrir que, en cada condición, la probabilidad de atender a un canal dependa únicamente de la probabilidad de que dicho canal presente el dígito a reconocer. En tal caso, tendremos lo siguiente: 1) En la condición 3 el dígito a reconocer aparece con equiprobabilidad en ambos canales, luego la probabilidad de atender al canal 1, θ_3 , valdrá lo mismo que la probabilidad de atender al canal 2, $1 - \theta_3$; por lo tanto, $\theta_3 = 0,5$. 2) Puesto que la probabilidad de que el dígito aparezca en el canal 1 en la condición 4 es justamente la probabilidad de que aparezca en el canal 2 en la condición 5, tendremos que $\theta_4 = 1 - \theta_5$.

c) Puede también ocurrir que θ_i ($i: 3, 4, 5$) sea función de la probabilidad de que el dígito aparezca en cada canal, aunque no exclusivamente. En tal caso, no se justifica el razonamiento expuesto en el punto "b" y hemos de considerar los tres parámetros θ_3 , θ_4 y θ_5 .

Las tres posibilidades anteriores difieren, como hemos visto, en el número adicional de parámetros a estimar de los datos. Mientras en los casos "a" y "b" necesitamos estimar un parámetro, en el caso más general (caso "c") necesitamos estimar θ_3 , θ_4 y θ_5 . Contrastaremos el modelo CU en su versión "c"; pues si el ajuste no es satisfactorio, tampoco lo será en sus otras dos versiones. En lo sucesivo, con modelo CU nos referiremos a modelo CU versión "c".

El contraste acerca de si los datos observados son compatibles con el modelo CU se lleva a cabo mediante el estadístico W (Amón, 1980, cap. 14), de distribución χ^2_3 .

2. En el canal 1 se excluye $i=2$, pues el dígito no puede presentarse en el canal 1 de la condición 2. En el canal 2 se excluye $i=1$, pues el dígito tampoco puede presentarse en el canal 2 de la condición 1.

Siendo $W = \sum_{i=3}^5 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 (O_{ijk} - E_{ijk})^2 / E_{ijk}$. Donde O_{ijk} y E_{ijk} representan las frecuencias observadas y esperadas ("i" indica condición; "j", canal; "k", acierto o error). Las frecuencias esperadas dependen de θ_3 , θ_4 y θ_5 , que son estimados mediante un programa de ordenador (Ponsoda, 1981, programa V) adecuado al efecto. El programa obtiene los valores de los tres parámetros que hacen mínimo el estadístico W.

Modelo de dos canales

En el modelo de dos canales, llamado en los sucesivo modelo DC, en cada ensayo se atiende a ambos canales. Es decir, se tiene en cuenta toda la información presentada en cada ensayo.

Sea $P_i(R1)$ ($P_i(R2)$) la probabilidad de que, en un ensayo que pertenece a la condición "i" ($i: 1, 3, 4, 5$) ($i: 2, 3, 4, 5$) en la que la atención se reparte entre ambos canales según el reparto r_i , se identifique o reconozca el dígito, supuesto que apareció en el canal 1 (2). $P_i(R1)$ y $P_i(R2)$ sí dependen de la condición "i", pues dependen del reparto de la atención r_i , asociado a la condición "i". Mantenemos ambos parámetros en cada una de las condiciones 3, 4 y 5 por la misma razón comentada en el modelo CU, respecto a los parámetros $P(I1)$ y $P(I2)$.

Consideremos un ensayo que pertenece a la condición "i" ($i: 1, 2, \dots, 5$). El dígito a reconocer puede presentarse con cierta probabilidad en el canal 1 o en el 2. Supongamos que un sujeto realiza el reparto de la atención r_i entre los dos canales. Entonces, si el dígito aparece en el canal 1, el sujeto tendrá una probabilidad de reconocerlo $P_i(R1)$; la probabilidad de no reconocerlo, en consecuencia, será $1 - P_i(R1)$. Si el dígito aparece en el canal 2, la probabilidad de reconocerlo será $P_i(R2)$; y la de no reconocerlo, $1 - P_i(R2)$. En la figura 2 aparecen las posibilidades anteriormente comentadas.

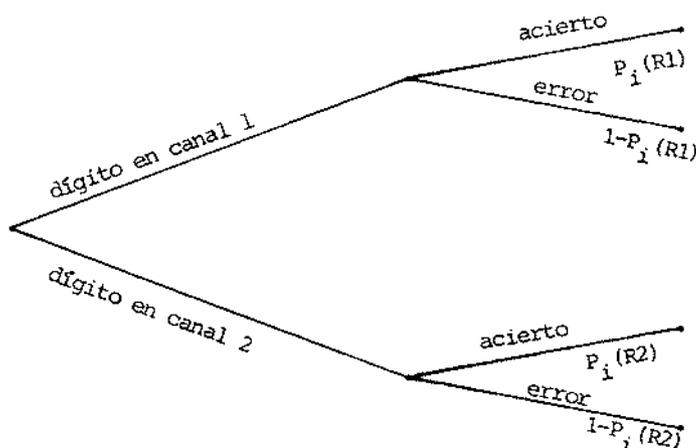


Figura 2. Posibilidades que considera el modelo de dos canales en un ensayo perteneciente a la condición "i" ($i: 1, 2, \dots, 5$). El significado de sus parámetros se encuentra en el texto.

Entonces, supuesto que el dígito aparece en el canal 1 y que el sujeto adopta en la condición "i" el reparto de la atención r_i , la probabilidad de que un sujeto responda correctamente en un ensayo que pertenezca a la condición "i" ($i: 1, 3, 4, 5$)² será: $P_i(C | 1, r_i) = P_i(R1)$. [2]

Similarmente, supuesto que el dígito aparece en el canal 2, en un ensayo perteneciente a la condición "i" ($i: 2, 3, 4, 5$)², tendríamos $P_i(C | 2, r_i) = P_i(R2)$. [2']

Consideremos las siguientes dos posibilidades:

a) Una primera posibilidad es que, atendiendo a toda la información, la atención se reparta en cada ensayo entre los dos canales de forma diferente según sea la condición a la que el ensayo pertenezca (es decir, difieran entre sí los repartos r_1, r_2, r_3, r_4 y r_5), y el reconocimiento del dígito dependa del reparto de atención realizado. Se han sugerido, al menos, dos posibles explicaciones que relacionan la atención asignada a cada canal y el rendimiento observado en dicho canal: 1) Una mayor atención a un canal podría mejorar la calidad de la información extraída de ese canal aumentando el cociente señal/ruido (Shaw, 1982). 2) Presumiblemente, la atención guía el mecanismo encargado de la identificación del dígito a partir de la información existente en la memoria icónica. Tal mecanismo procede serialmente y, dada la corta duración de la información icónica, podría explicar el mejor rendimiento observado en el canal más favorecido por la atención.

Los resultados de Ponsoda (1982) explicados mediante el modelo M4 pueden ser compatibles, al menos en principio, con alguna o ambas explicaciones. No obstante, el autor no dispone en el momento presente de modelos de las anteriores explicaciones que sean contrastables con los resultados empíricos señalados.

b) Una segunda posibilidad es que, atendiendo a la información presentada en ambos canales, el rendimiento en cada canal no dependa de la condición a la que el ensayo pertenezca, bien porque el reparto de la atención sea siempre el mismo, o bien porque el rendimiento no dependa del reparto de atención realizado. En efecto, para un determinado sujeto y un determinado canal "j", las diferencias entre los valores $P_i(C | j, r_i)$ ³ ($i: 1, 2, \dots, 5$) dependen sólo de los repartos r_i ; si éstos no varían, el rendimiento observado en el citado canal "j" también deberá ser el mismo en las cuatro³ condiciones. Por otra parte, si varían los repartos de la atención, pero éstos no modifican el rendimiento, volveremos a predecir el mismo rendimiento en las cuatro condiciones en el canal "j". En conclusión, tanto en un caso como en el otro, esperaremos que $P_1(R1) = P_3(R1) = P_4(R1) = P_5(R1) = P(R1)$, y $P_2(R2) = P_3(R2) = P_4(R2) = P_5(R2) = P(R2)$.

En lo sucesivo, nos referiremos con modelo DC al modelo de dos canales expuesto en el punto "b". Nótese que este modelo se debe cumplir cuando no ha habido cambios en la atención, o cuando, habiéndose producido cambios en la atención, no varió el rendimiento en función de esos cambios. Por lo tanto, la aceptación del modelo DC en algunos de los sujetos en los que se acepte también otro modelo que sí suponga efectos de la atención nos permitirá evitar la comisión de un error grave cuando decidamos qué modelo

2. Ver llamada en pág. 94

3. En rigor, hay que excluir los valores $P_2(C | 1, r_2)$ y $P_1(C | 2, r_1)$, pues no han sido definidos (véase [2] y [2']). Por lo tanto, en cada canal "j", son cuatro, no cinco, las condiciones a comparar.

explica mejor los resultados observados: Aceptar la explicación ofrecida por un modelo que supone efectos de la atención, cuando, de hecho, no se ha producido efecto alguno.

El contraste acerca de si los datos observados son compatibles con el modelo DC se lleva a cabo mediante el estadístico W , de distribución χ^2_6 . Siendo

$$W = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 (O_{ijk} - E_{ijk})^2 / E_{ijk} + \sum_{i=3}^5 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 (O_{ijk} - E_{ijk})^2 / E_{ijk}.$$

Donde O_{ijk} y E_{ijk} tienen el significado expuesto en el modelo CU. Las frecuencias esperadas dependen de los parámetros $P(R1)$ y $P(R2)$, que han sido estimados mediante la proporción de aciertos, a lo largo de toda la sesión experimental, en el canal 1 y en el canal 2, respectivamente.

Modelo mixto

En el modelo mixto, en lo sucesivo llamado modelo MM, el sujeto atiende en algunos ensayos a un solo canal y en los restantes ensayos a ambos.

Sea β_i la probabilidad de que, en un ensayo que pertenece a la condición "i" (i: 1, 2, ..., 5), el sujeto atienda exclusivamente a un canal. Supondremos que atiende necesariamente a uno o a ambos canales. $1 - \beta_i$, en consecuencia, será la probabilidad de que atienda a ambos canales, en un ensayo que pertenece a la condición "i".

θ_i , $P(11)$ y $P(12)$ tienen el significado expuesto en el modelo CU. $P_i(R1)$ y $P_i(R2)$ tienen el significado expuesto en el modelo DC.

Consideremos un ensayo que pertenece a la condición "i" (i: 1, 2, ..., 5) y en el que, si se atiende a ambos canales, se hace el reparto de atención r_i . Supuesto que se presenta el dígito en el canal 1, el sujeto puede atender a un solo canal, con probabilidad β_i , o a ambos, con probabilidad $1 - \beta_i$. Supuesto que atiende sólo a un canal, puede hacerlo al canal 1, con probabilidad θ_i , en cuyo caso responde correctamente con probabilidad $P(11)$; o al canal 2, con probabilidad $1 - \theta_i$, en cuyo caso puede acertar por azar con probabilidad $1/9$. Si atiende a ambos canales, tendrá una probabilidad de respuesta correcta $P_i(R1)$. Un razonamiento análogo es posible cuando el dígito se presenta en el canal 2. Las posibilidades expuestas se muestran en la figura 3.

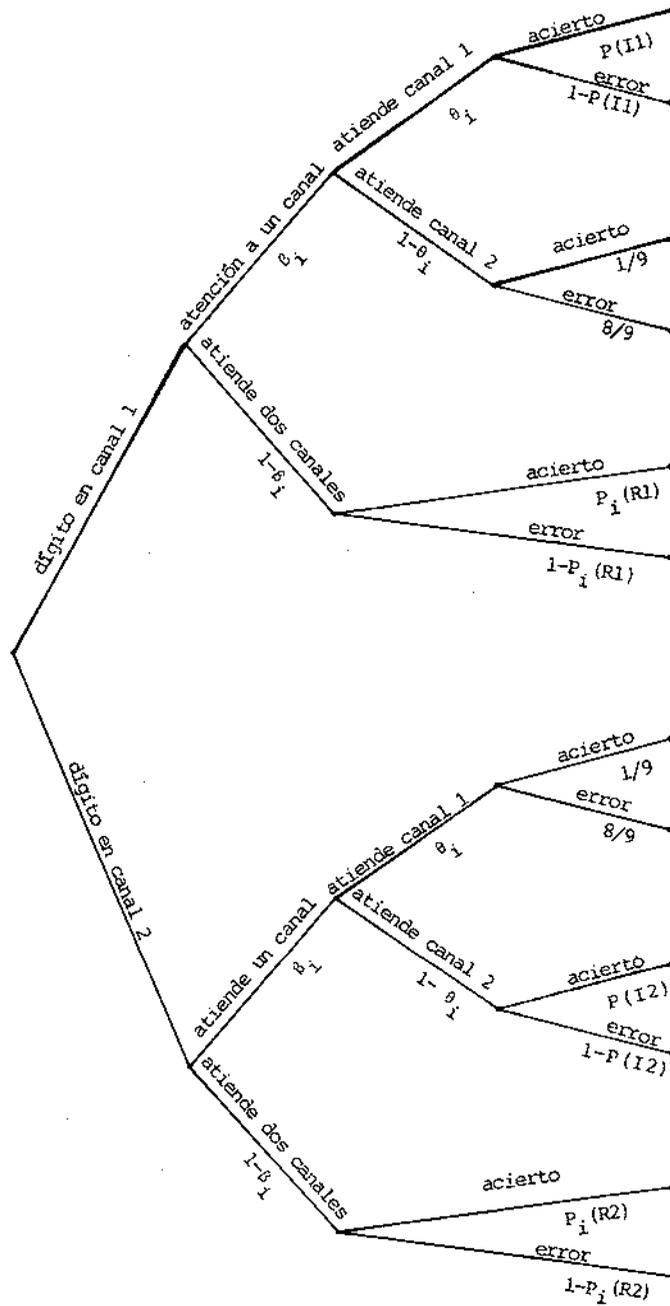


Figura 3. Posibilidades que considera el modelo mixto en un ensayo perteneciente a la condición "i" ($i: 1, 2, \dots, 5$). El significado de sus parámetros se encuentra en el texto.

Entonces, supuesto que el dígito aparece en el canal 1 y que adopta el reparto r_i en los ensayos de la condición "i" en los que atiende a ambos canales, la probabilidad de que responda correctamente en un ensayo que pertenezca a dicha condición "i" ($i: 1, 3, 4, 5$)², $P_i(C | 1, \beta_i)$, será

$$P_i(C | 1, \beta_i) = \beta_i[\theta_i P(I1) + (1 - \theta_i)(1/9)] + (1 - \beta_i) P_i(R1) \\ = \beta_i[\theta_i\{P(I1) - (1/9)\} + (1/9)] + (1 - \beta_i) P_i(R1). \quad [3]$$

Similarmente, supuesto que el dígito aparece en el canal 2, en un ensayo perteneciente a la condición "i" ($i: 2, 3, 4, 5$)², tendríamos

$$P_i(C | 2, \beta_i) = \beta_i[\theta_i(1/9) + (1 - \theta_i) P(I2)] + (1 - \beta_i) P_i(R2) \\ = \beta_i[\theta_i\{(1/9) - P(I2)\} + P(I2)] + (1 - \beta_i) P_i(R2). \quad [3']$$

Nótese que

1) Si $\beta_i = 1$ ($i: 1, 2, \dots, 5$), entonces la predicción [3] se convierte en la predicción [1], la [3'] en la [1'], y la figura 3 puede reducirse a la figura 1. Además, con el supuesto adicional de que $\theta_1 = 1$ y $\theta_2 = 0$, tendremos nuestro modelo CU.

2) Si $\beta_i = 0$ ($i: 1, 2, \dots, 5$), entonces la predicción [3] se convierte en la predicción [2], la [3'] en la [2'], y la figura 3 puede reducirse a la figura 2. Además, con el supuesto adicional de que $P_1(R1) = P_3(R1) = P_4(R1) = P_5(R1) = P(R1)$ y $P_2(R2) = P_3(R2) = P_4(R2) = P_5(R2) = P(R2)$, tendremos nuestro modelo DC.

Pasamos a proponer un modelo particular que, siendo verosímil, exija un número de parámetros a estimar de los datos notablemente inferior a los veinte requeridos por el modelo mixto en su versión más general: $P(I1)$, $P(I2)$; θ_i , β_i ($i: 1, 2, \dots, 5$); $P_1(R1)$, $P_2(R2)$; $P_i(R1)$, $P_i(R2)$ ($i: 3, 4, 5$).

Parece razonable suponer que, en las condiciones 1 y 2, el sujeto atiende siempre y sólo al canal en el que va a presentarse el dígito; es decir, parece razonable suponer que $\beta_1 = 1$ y $\theta_1 = 1$, y que $\beta_2 = 1$ y $\theta_2 = 0$. Entonces, $P_1(C | 1, 1) = P(I1)$, y $P_2(C | 2, 1) = P(I2)$, aplicando [3] y [3']. En consecuencia, tomaremos la proporción observada de aciertos en el canal 1 de la condición 1 como estimación de $P(I1)$, y la observada en el canal 2 de la condición 2 como estimación de $P(I2)$.

Realizadas las anteriores estimaciones, el modelo MM se tendría que contrastar en las tres restantes condiciones: 3, 4 y 5. Previamente hemos de introducir algunos supuestos adicionales, pues necesitamos todavía doce parámetros mientras disponemos de seis grados de libertad. Tales supuestos son tres:

S1) $\beta_3 = 0$, $\beta_4 = \beta_5 = \beta$. Es decir, en la condición 3 (cuando el dígito aparece con equiprobabilidad en ambos canales) el sujeto atiende siempre a ambos canales. En las restantes dos condiciones, es constante el porcentaje de ensayos en los que se toma información de un solo canal.

S2) En cuanto a los parámetros θ_3 , θ_4 , y θ_5 , suponemos que se verifica lo expuesto en el modelo CU versión "b". Es decir, $\theta_3 = 0,5$, $\theta_4 = 1 - \theta_5 = \theta$. En rigor, por el supuesto S1, $\beta_3 = 0$; por lo tanto, no sería necesario determinar el valor de θ_3 .

S3) $P_3(R1) = P_4(R1) = P_5(R1) = P(R1)$, y $P_3(R2) = P_4(R2) = P_5(R2) = P(R2)$.

En consecuencia, las principales características del modelo MM propuesto son: 1) En las condiciones 1 y 2 se atiende únicamente, en cada ensayo, al canal que contiene el dígito. 2) En la condición 3 se atiende, en cada ensayo, a ambos canales. 3) En la condición 4 se atiende a ambos canales un $100(1-\beta)\%$ de los ensayos; en cada uno de los cuales se reconoce el dígito con probabilidad $P(R1)$ si se presentó en el canal 1, y con probabilidad $P(R2)$ si apareció en el canal 2. En el $100\beta\%$ restante de ensayos se atiende a un solo canal: En un $100\beta\theta\%$ al canal 1 y en el $100\beta(1-\theta)\%$ al canal 2. En la condición 5 se procede como en la 4 salvo que en un $100\beta\theta\%$ de ensayos se atiende exclusivamente al canal 2, y en un $100\beta(1-\theta)\%$ de ensayos se atiende exclusivamente al canal 1.

De los supuestos adicionales S1 y S3 se sigue que $P_3(C | 1, 0) = P(R1)$ y $P_3(C | 2, 0) = P(R2)$, aplicando [3] y [3']. Por ello, podemos estimar los parámetros $P(R1)$ y $P(R2)$ mediante la proporción observada de respuesta correcta en el canal 1 y en el 2, respectivamente, de la condición 3. Una vez estimados, como acabamos de exponer, $P(I1)$, $P(I2)$, $P(R1)$ y $P(R2)$, necesitamos estimar β y θ . Se han obtenido a partir de un programa de ordenador (Ponsoda, 1981, programa V), modificado al efecto, que calcula los valores de β y θ que hacen mínimo el estadístico de contraste W , de distribución χ^2_2 . Siendo

$$W = \sum_{i=4}^5 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 (O_{ijk} - E_{ijk})^2 / E_{ijk} \cdot \text{Donde } O_{ijk} \text{ y } E_{ijk} \text{ tienen el significado expuesto en}$$

los dos modelos anteriores.

RESULTADOS

En la tabla I exponemos la proporción de dígitos correctamente reconocidos en cada condición y canal (fila O), las probabilidades de reconocimiento predichas por el modelo M4, el modelo CU, el modelo DC y el modelo MM (filas M4, CU, DC, MM), los correspondientes valores del estadístico de contraste W , su grado de significación y las estimaciones de los parámetros para cada uno de los diez sujetos. Las filas O y M4, que también aparecen en Ponsoda (1982, tabla II), se vuelven a exponer para facilitar las comparaciones.

Como puede verse en la tabla I, el modelo CU es aceptado estadísticamente en un sujeto, el modelo DC en dos, y el modelo MM es aceptado en siete sujetos.

En los sujetos uno y seis se aceptan simultáneamente los modelos DC y MM. En el sujeto dos se aceptan simultáneamente los modelos CU y MM. En los sujetos tres, cuatro y cinco se rechazan los tres modelos. Por último, en los cuatro sujetos restantes solamente se acepta el modelo MM.

Midamos la bondad del ajuste mediante la probabilidad asociada (mayor ajuste a menor probabilidad asociada) a cada estadístico de contraste (éstos no se pueden comparar directamente entre sí por pertenecer a distribuciones distintas). Sea w el valor particular de W obtenido en un sujeto al contrastar uno de los tres modelos. Pues bien, llamamos probabilidad asociada al valor w , p , a la probabilidad de hallar valores del estadístico W inferiores a w . Es decir, $p = P(W < w)$. A partir de las probabilidades asociadas, se puede concluir que el modelo más adecuado en los sujetos en los que sólo

TABLA I: "PROPORCIONES OBSERVADAS Y PREDICCIONES"

		1,1	2,2	3,1	3,2	4,1	4,2	5,1	5,2	θ_3	θ_4	θ_5	β	W
suj. 1	O	.70	.73	.57	.70	.50	.65	.58	.67					
	M4	.75	.81	.53	.59	.49	.63	.56	.55					7,33
	CU			.36	.47	.28	.56	.48	.35	.42	.28	.62		35,90***
	DC	.61	.69	.61	.69	.61	.69	.61	.69					4,29
	MM					.52	.67	.55	.64		.35		.18	0,35
suj. 2	O	.60	.72	.28	.70	.00	.73	.45	.50					
	M4	.52	.72	.35	.50	.22	.64	.45	.31					25,90***
	CU			.21	.60	.11	.72	.40	.36	.20	.00	.59		6,20
	DC	.41	.70	.41	.70	.41	.70	.41	.70					20,24**
	MM					.20	.71	.43	.42		.00		.48	2,85
suj. 3	O	.78	.98	.56	.90	.40	1.0	.78	.70					
	M4	.80	.99	.58	.90	.35	.97	.73	.64					2,43
	CU			.35	.68	.16	.92	.61	.34	.35	.07	.74		40,27***
	DC	.68	.94	.68	.94	.68	.94	.68	.94					26,47***
	MM					.36	.94	.66	.55		.00		.45	6,18*
suj. 4	O	.73	.78	.63	.43	.42	.90	.67	.50					
	M4	.78	.79	.56	.57	.35	.71	.70	.36					16,16**
	CU			.52	.35	.17	.72	.58	.28	.65	.09	.75		22,34***
	DC	.66	.68	.66	.68	.66	.68	.66	.68					36,47***
	MM					.28	.67	.69	.22		.03		.70	18,15***
suj. 5	O	.82	.78	.73	.70	.42	.85	.63	.58					
	M4	.83	.86	.61	.65	.48	.75	.71	.51	.51	.11	.63		12,61*
	CU			.47	.44	.19	.71	.56	.36					45,46***
	DC	.71	.76	.71	.76	.71	.76	.71	.76					15,96*
	MM					.51	.70	.73	.49		.13		.43	9,06*
suj. 6	O	.65	.73	.48	.65	.25	.50	.63	.38					
	M4	.68	.74	.47	.52	.37	.61	.55	.41					5,79
	CU			.33	.48	.30	.51	.55	.23	.40	.35	.81		10,53*
	DC	.56	.62	.56	.62	.56	.62	.56	.62					12,14
	MM					.26	.58	.51	.28		.25		.95	2,67
suj. 7	O	.68	.82	.65	.63	.17	.88	.69	.08					
	M4	.73	.85	.51	.63	.11	.85	.73	.11					7,05
	CU			.42	.44	.11	.82	.68	.12	.54	.00	.99		24,18***
	DC	.64	.72	.64	.72	.64	.72	.64	.72					47,67***
	MM					.11	.82	.68	.11		.00		1.0	1,56
suj. 8	O	.60	.77	.55	.48	.08	.67	.54	.50					
	M4	.65	.75	.44	.53	.30	.66	.56	.36					7,86
	CU			.40	.37	.17	.69	.45	.31	.60	.12	.70		12,71**
	DC	.53	.63	.53	.63	.53	.63	.53	.63					22,37**
	MM					.27	.63	.53	.27		.15		.78	5,59
suj. 9	O	.80	.80	.58	.67	.25	.81	.77	.33					
	M4	.81	.84	.59	.62	.27	.80	.77	.28					1,44
	CU			.42	.49	.15	.77	.71	.20	.45	.05	.87		17,78***
	DC	.68	.73	.68	.73	.68	.73	.68	.73					32,53***
	MM					.24	.76	.74	.26		.00		.73	1,18
suj. 10	O	.72	.62	.67	.53	.33	.58	.81	.25					
	M4	.80	.67	.57	.46	.29	.61	.75	.24					8,02
	CU			.46	.33	.22	.53	.71	.12	.57	.18	.99		28,17***
	DC	.70	.56	.70	.56	.70	.56	.70	.56					16,69*
	MM					.29	.59	.70	.25		.00		.68	2,98

Tabla I. Proporciones observadas (fila O) y predichas por los modelos M4, CU, DC y MM (filas M4, CU, DC y MM), en cada sujeto. La columna encabezada con 1,1 presenta las proporciones observadas

se rechaza uno de ellos es el modelo MM. En efecto; en el sujeto uno, el valor de w (4,29) en el modelo DC corresponde $0,3 < p < 0,4$, mientras al valor de w (0,35) en el modelo MM corresponde $0,1 < p < 0,2$. En el sujeto dos, al valor de w (6,20) en el modelo CU corresponde $0,8 < p < 0,9$, mientras al valor de w (2,85) en el modelo MM corresponde $0,7 < p < 0,8$. En el sujeto seis, al valor de w (12,14) en el modelo DC corresponde $0,9 < p < 0,95$, mientras al valor de w (2,67) en el modelo MM corresponde $0,7 < p < 0,8$.

Un procedimiento para estudiar el significado de los parámetros del modelo M4 consiste en analizar la matriz de correlaciones resultante de correlacionar cada parámetro del modelo M4, expuestos en Ponsoda (1982, tabla II), con cada uno de los correspondientes al modelo MM; y ello en la submuestra (seis sujetos) en la que hemos aceptado ambos modelos. Las correlaciones así obtenidas se muestran en la tabla II.

TABLA II: "CORRELACIONES ENTRE LOS PARÁMETROS DEL MODELO M4 Y LOS DEL MODELO MM"

	P(I1)	P(I2)	P(R1)	P(R2)	β	θ
C	0,81*	0,48	0,38	0,65	-0,20	-0,34
v	0,45	-0,86*	0,43	-0,24	-0,21	-0,32
g	-0,13	-0,27	-0,57	0,34	-0,78	0,92**

Tabla II. C, v y g son los parámetros del modelo M4; P(I1), P(I2), P(R1), P(R2), β y θ , los del modelo MM. ** y * indican correlación significativa al 1% y 5%, respectivamente. $n=6$.

y predichas en el canal 1 de la condición 1, la encabezada con 2,2 presenta las correspondientes al canal 2 de la condición 2, ... la encabezada con 5,2 presenta las correspondientes al canal 2 de la condición 5. Las columnas encabezadas con θ_3 , θ_4 , θ_5 , y β muestran las estimaciones de dichos parámetros que hacen mínimo el valor de W. Por último, la columna encabezada con W muestra los valores del estadístico indicador del ajuste; ***, ** y * indican resultado significativo (es decir, rechazo del modelo) al 1%, 5% y 10%, respectivamente. Los resultados de cada sujeto se basan en 360 observaciones, excepto en los sujetos dos (300), tres (300) y seis (240).

Solamente encontramos tres correlaciones significativas: C con P(I1), v con P(I2), y g con θ . Al borde de la significación está la correlación entre g y β .

DISCUSIÓN

Una deficiencia del modelo M4 (véase Introducción) consiste en la dificultad de interpretar sus tres parámetros C, v y g. Una posible vía de acceso a dicha interpretación puede ser el estudio de la compatibilidad de dicho modelo con otros modelos cuyos parámetros sí sean interpretables. Por ello, hemos propuesto tres modelos que, mediante predicciones cuantitativas, permitan atisbar una interpretación en términos de si se atiende a un solo canal en cada ensayo, a los dos canales en cada ensayo, o a un canal en unos ensayos y a ambos en los restantes ensayos.

Antes de explicar los datos observados mediante modelos de atención, conviene descartar la posibilidad de que ésta no haya intervenido en tales datos. Los resultados obtenidos con el modelo DC permiten concluir que sí ha habido efectos de la atención en todos los sujetos de la muestra (aunque en dos sujetos no se rechaza estadísticamente el modelo DC, sus resultados quedan mejor explicados por el modelo MM, que si supone efectos de la atención).

El modelo CU tampoco explica los datos obtenidos por Ponsoda (1982). Una deficiencia notable es que predice probabilidades de reconocimiento inferiores a las observadas. En efecto, comparando en la tabla I cada una de las sesenta predicciones del modelo CU con las correspondientes proporciones observadas vemos que sólo en seis comparaciones las predicciones son superiores a las proporciones empíricas. Obviamente, si hubiésemos contrastado las versiones "a" o "b", expuestas en el modelo de canal único, el ajuste no hubiera sido mejor.

De los tres modelos contrastados el más adecuado es el modelo MM. De acuerdo con sus supuestos (véase modelo MM), un alto porcentaje de nuestros sujetos atienden a un solo canal o a ambos según la condición a la que el ensayo pertenece. Atienden sistemáticamente al canal que va a presentar el dígito cuando saben con certeza el canal en el que el dígito va a aparecer (es decir, en las condiciones 1 y 2). Atienden sistemáticamente a ambos canales cuando tienen la máxima incertidumbre respecto al canal en el que aparecerá el dígito (es decir, en la condición 3). En las restantes dos condiciones, en algunos ensayos atienden a un solo canal y en el resto a ambos. Además, 1) el porcentaje de ensayos en los que se atiende a ambos canales es el mismo en dichas dos condiciones. 2) El porcentaje de ensayos en los que se atiende sólo al canal 1, en una condición, coincide con el porcentaje de ensayos en los que se atiende sólo al canal 2, en la otra condición. 3) Supuesto que se atiende a ambos canales simultáneamente, la probabilidad de reconocer el dígito no depende de la condición a la que pertenece el ensayo, aunque puede depender del canal en el que se presenta el dígito.

Se podría argumentar que el aceptable ajuste del modelo MM se debe a que estimamos seis parámetros (frente a tres en el modelo M4), lo cual es parcialmente, no totalmen-

te, cierto: El modelo CU estima cinco parámetros y el ajuste es claramente inaceptable.

¿Qué podemos concluir sobre los dos objetivos planteados en la Introducción?

Respecto al primer objetivo --intentar explicar los resultados de los tres sujetos en los que no se pudo aceptar el modelo M4--, hemos visto que en uno de ellos (sujeto dos) se acepta el modelo MM. En los otros dos sujetos no hemos podido aceptar ningún modelo de los contrastados.

Respecto al segundo objetivo --estudiar la compatibilidad del modelo M4 con los modelos anteriormente desarrollados--, hemos obtenido que el modelo M4 es compatible con el modelo MM en seis sujetos, y no lo es en uno. Como vimos anteriormente, en el sujeto dos no hay ajuste al modelo M4 y sí al modelo MM. Por lo tanto, ambos modelos no son identificables; de serlo, esperaríamos que si uno de los dos modelos es aceptado (rechazado) en algún sujeto de la muestra, el otro modelo también debería ser aceptado (rechazado). En cualquier caso, sí se puede afirmar la aceptación del modelo MM en la mayoría de los sujetos en los que se había aceptado el modelo M4; lo cual permite aventurar una interpretación del modelo M4 mediante el modelo MM: La principal estrategia en el reparto de la atención consiste en atender sólo a un canal en algunos ensayos y en el resto a ambos canales, y ello en función de la condición a la que el ensayo pertenezca (es decir, en función de la probabilidad de que el dígito aparezca en uno u otro canal). Un resultado de la tabla II avala la anterior interpretación. En efecto, la correlación entre g y θ es positiva. g es la capacidad asignada por el sujeto al canal 1 de la condición 4 (o al canal 2 de la condición 5), y θ es la probabilidad de que el sujeto atienda al canal 1 de la condición 4 (o al canal 2 de la condición 5), supuesto que atiende sólo a un canal. Luego, cuanto mayor es la capacidad asignada a un canal en las condiciones 4 y 5, mayor suele ser la probabilidad de que el sujeto tome información exclusivamente de ese canal. La tabla II ofrece otras dos correlaciones significativas. C y $P(11)$ correlacionan positivamente. C indica la capacidad total del sujeto, y $P(11)$ indica la probabilidad de reconocer el dígito, supuesto que se atiende exclusivamente al canal 1 y que el dígito apareció en dicho canal. El resultado no es sorprendente, pues podemos esperar que a más capacidad, tienda a ser mayor la eficacia en el reconocimiento del dígito cuando se atiende exclusivamente al canal en el que se presenta. Por ello, también la correlación entre C y $P(12)$ debiera ser significativamente positiva, resultado éste no confirmado por la tabla II. Por último, la correlación entre v y $P(12)$ es negativa. v indica la visibilidad relativa del canal 1, y $P(12)$ la probabilidad de reconocer el dígito, supuesto que se atiende exclusivamente al canal 2 y que el dígito apareció en dicho canal. Se puede, entonces, esperar una correlación significativamente positiva entre v y $P(11)$ (resultado no obtenido), y una correlación significativamente negativa entre v y $P(12)$ (resultado sí obtenido).

Son muchos los problemas todavía no resueltos que requieren investigación adicional. Algunos de ellos se comentan brevemente a continuación.

a) Los datos de los sujetos cuatro y cinco no se ajustan a ninguno de los modelos considerados hasta el momento. En ambos sujetos encontramos resultados difícilmente explicables por cualquier modelo de atención: en el sujeto cuatro, la proporción de reconocimiento en el canal 2 de la condición 4 es 0,90, mientras la del canal 2 de la condición 2 es 0,78; en el sujeto cinco, la proporción de reconocimiento en el canal 2 de la condición 4 es 0,85, mientras la del canal 2 de la condición 2 es 0,78. Luego, en ambos sujetos, el reconocimiento de un dígito presentado en el canal 2 es mejor en la condición 4 que en la condición 2; es decir, es mejor cuando existe cierta incertidumbre

que cuando existe certeza sobre el canal en el que va a presentarse el dígito.

b) Un supuesto quizás demasiado restrictivo del modelo MM es que, si el sujeto atiende en un ensayo a ambos canales, la eficacia en cada canal no depende de la condición a la que pertenece el ensayo. Parece razonable que, atendiendo a ambos canales, el sujeto pueda repartir entre ellos su atención de forma diferente según la condición a la que el ensayo pertenezca. Si el rendimiento depende de la atención asignada a cada canal, la proporción de dígitos reconocidos en un canal dependerá de la condición a la que el ensayo pertenezca. Esta posibilidad, que no hemos podido contrastar hasta el momento, es atractiva y ligada a ella va la obtención de modelos de dos canales que sí supongan efectos de la atención. Es decir, modelos de dos canales que correspondan a la posibilidad "a" (véase modelo DC).

c) A otro nivel, el trabajo plantea algunas cuestiones metodológicas que requieren más estudio: Reglas de decisión en la contrastación simultánea de más de dos modelos; ventajas e inconvenientes de estimar, como hemos hecho, algunos parámetros mediante simulación y otros mediante estimación puntual; entre otras.

RESUMEN

El modelo M4 de Ponsoda (1982) explicó los resultados de siete de sus diez sujetos en la tarea de reconocimiento de un dígito presentado en uno de los dos canales o partes del espacio de observación. El propósito del presente trabajo es doble: 1) Explicar el rendimiento de los tres sujetos que no se ajustaron al modelo M4. 2) Establecer el significado psicológico del modelo M4. Para ello, se han planteado dos nuevos modelos: los modelos CU y MM. En el modelo CU, el sujeto atiende exclusivamente en cada ensayo a un canal. En el modelo MM, el sujeto atiende en algunos ensayos a un solo canal y en los restantes a ambos canales. Una vez descartada la inexistencia de efectos de la atención (la explicación ofrecida por un tercer modelo, modelo DC, no es satisfactoria en ningún sujeto), obtuvimos que: a) la probabilidad de reconocimiento predicha por el modelo CU es demasiado baja. b) El modelo MM explica los resultados de un sujeto de los tres que no se ajustaron al modelo M4, y de seis de los siete que sí se ajustaron. Concluimos que los modelos M4 y MM, aunque no identificables, guardan una estrecha relación, que se estudia a partir de las correlaciones existentes entre los parámetros de dichos modelos.

RÉSUMÉ

Le modèle M4 de Ponsoda (1982) explique les résultats de sept parmi ses dix sujets, qui ont fait la tâche de reconnaissance d'un digite présenté dans un des deux canaux ou parts de l'espace d'observation. Il y a un double propos dans cet article: 1) Expliquer le rendement du trois sujets qui ne s'ajustèrent pas au modèle M4. 2) Établir la signification psychologique du modèle M4. Pour cela, nous avons projeté deux nouveaux modèles: le CU et le MM. Dans le modèle CU le sujet prête attention, exclusivement, à un seul canal dans chaque essai. Dans le modèle MM, le sujet prête attention à un seul canal, dans

quelques essais, et pour les restants essais, il prête attention à tous deux. Une fois qu'on écarte l'inexistence d'effets de l'attention (l'explication donnée pour un troisième modèle, DC, ell n'est pas satisfaisante dans aucun sujet), les résultats obtenus sont les suivants: a) La probabilité de reconnaissance prédite par le modèle CU est trop basse. b) Le modèle MM explique les résultats d'un des trois sujets qui ne s'ajuste pas au modèle M4, et aussi celles de six d'entre les sept sujets qui s'ajustèrent. En conclusion, les modèles M4 et MM, bien que non identifiables, ils gardent une étroite relation, que l'on étudie à partir des corrélations existantes entre les paramètres des modèles cités.

SUMMARY

The M4 model (Ponsoda, 1982) explained the data obtained from seven subjects of a sample (n=10) in a digit recognition task. The digit to be reported appears in only one of the two channels or search space locations. Two purposes has this paper: 1) To explain data from the three subjects that do not fit the M4 model. 2) To establish the psychological meaning of the M4 model. We propose two new models: the CU and the MM. In the CU model, the subject, in each trial, directs its attention always to only one channel. In the MM model, the subject directs its attention only to one channel in some trials; but, in the remaining ones, directs its attention to both channels. Since it is impossible that there does not exist attention effects (the explanation offered by a third model, the DC model, is not satisfactory in each of the our subjects), we have obtained that: 1) The performance predicted by the CU model is too low. 2) The MM model explains data from one of the three subjects not fitted to the M4 model, and from six of the seven that fitted the M4 model. We conclude that there exists a strong relationship between the M4 model and the MM model, even if both models are not identificables. This relationship is analysed by the correlations between the M4 model parameters and the MM model parameters.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AMON, J. *Estadística para psicólogos*, vol. II, Madrid: Ed. Pirámide, 1980.
- PONSODA, V. Algunos programas estadísticos y de atención visual. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 1981, 36 (5), 819-823.
- PONSODA, V. Algunos modelos matemáticos de la capacidad de atención. *Investigaciones psicológicas*, 1982, 1, 3-23.
- SHAW, M. Attending to Multiple Sources of Information: I. The integration of information in Decision Making. *Cognitive Psychology*, 1982, 14, 353-409.
- SHAW, M. L. y SHAW, P. Optimal Allocation of Cognitive Resources to Spatial Locations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 1977, 3 (2), 201-211.