

Tesis Doctoral

Integración de información en tareas secuenciales

Kamienkowski, Juan Esteban

2011

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en digital.bl.fcen.uba.ar. Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in digital.bl.fcen.uba.ar. It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

Cita tipo APA:

Kamienkowski, Juan Esteban. (2011). Integración de información en tareas secuenciales. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

Cita tipo Chicago:

Kamienkowski, Juan Esteban. "Integración de información en tareas secuenciales". Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 2011.

EXACTAS UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



UBA

Universidad de Buenos Aires



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Física

INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN EN TAREAS SECUENCIALES

Trabajo de Tesis para optar por el título de
Doctor de la Universidad de Buenos Aires en el área Ciencias Físicas

por *JUAN ESTEBAN KAMIENKOWSKI*

Director de Tesis: MARIANO SIGMAN

Lugar de Trabajo: LABORATORIO DE NEUROCIENCIA INTEGRATIVA,
DEPARTAMENTO DE FÍSICA, FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y
NATURALES, UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

FEBRERO 2011

Integración de información en tareas secuenciales

Resumen

En la actualidad se posee un conocimiento profundo de la neurofisiología y las variables comportamentales asociadas a muchas operaciones simples dentro de la percepción (por ejemplo en visión: detección de colores, intensidades, movimientos, formas, etc) así como también de tareas cognitivas simples (comparación de números, reconocimiento de una palabras, etc). Sin embargo, se sabe muy poco de cómo estos procesos se concatenan en el tiempo para dar lugar a una tarea tan cotidiana como reconocer a una persona en la multitud.

El objetivo general de esta tesis es entender la sintaxis y arquitectura de procesos que componen una tarea compleja. Con esta premisa estudiamos situaciones de creciente complejidad, desde la interferencia de dos tareas independientes hasta el análisis de una escena visual –entendida como una sucesión de estados enmarcados en movimientos oculares rápidos–. Estos protocolos fueron combinados con modelos simples, y técnicas de seguimiento ocular y electroencefalografía. Los resultados presentados en esta tesis muestran que la arquitectura serial es una propiedad estructural del pensamiento consciente, independiente de la adquisición de información a través de movimientos oculares, y que los potenciales evocados asociados a la detección de un objeto en experimentos con la mirada fija pueden ser compatibilizados con los tiempos característicos de estos movimientos oculares rápidos.

A su vez proponemos dos esquemas experimentales novedosos: El primero, comportamental, traslada los experimentos clásicos de interferencia entre tareas a una situación de movimientos oculares, posibilitando el estudio de la arquitectura de procesos en estas situaciones de visión más natural; y el segundo radica en combinar registros de electroencefalografía y movimientos oculares para poder estudiar correlatos neurofisiológicas de la resolución de tareas naturales, como la lectura.

Palabras clave

Desempeño en tareas dobles

Modelos de caminatas al azar

Tareas secuenciales

Movimientos oculares

Electroencefalografía

Búsqueda Visual

Information Integration in Sequential Tasks

Abstract

Despite the deep understanding regarding the neurophysiology and behavior behind a huge range of operations in perception –i.e. in the visual system, color detection, color intensities, movement, shapes, etc- or simple cognitive tasks –i.e. number comparisons, word recognition, etc-; little is known about how these processes are combined in time to give place to such a simple task as recognizing somebody in a crowded place.

The main objective of this thesis is to understand the syntax and architecture of processes that compose a complex task. Inside this framework we studied some aspects of this syntax in situations of an increasing complexity, from the interference of two independent tasks to the visual analysis of a complex scene –which involves a sequence of states framed in the times of fast eye movements–. These protocols were combined with simple models, eye tracking and electroencephalography. In his thesis we show that the serial architecture is a structural invariant of the conscious thought, independent of the acquisition of information through eye movements, and that the evoked potentials associated with target detection in fixed-gaze experiments could be compatibilized with the timing of these rapid eye movements.

Finally, we proposed two new experimental schemes: The first one translates the classic dual-task interference experiments to a situation with eye movements, in order to study of the architecture of processes in natural vision; and the second, combining electroencephalography and eye movements to open the possibility of study the neural correlates of the resolution of more naturalistic tasks, as reading.

Keywords

Dual-Task Performance

Random-Walk Models

Sequential Tasks

Eye Movements

Electroencephalography

Visual Search

A la familia (Ve, Poli y Juli)...

Índice

<i>Abreviaturas y términos en inglés</i>	1
1. Introducción	5
1.1 Hoja de ruta	5
1.2 Mirando fijo al mundo	5
1.2.1 Sintaxis y arquitectura de procesos cognitivos	5
1.2.3 Mapeo del cuello de botella de PRP	6
1.2.4 Introspección cuantitativa	8
1.2.5 Múltiples cuellos de botella en PRP	9
1.2.6 ¿Se puede evitar el cuello de botella en PRP? Efectos de la práctica en la interferencia entre dos tareas	10
1.2.7 Los modelos de caminatas al azar pueden descomponer distintas etapas en una tarea cognitiva	10
1.2.8 Comparaciones sobre estímulos simbólicos y no simbólicos	13
1.2.9 Pestañeo atencional	14
1.2.10 De dos a N tareas...	15
1.2.11 Esclerosis Múltiple	16
1.3 Mirando al mundo a los saltos	17
1.3.1 El ojo y sus caminatas	17
El ojo ...	17
... y sus caminatas	18
1.3.2 Supresión sacádica	20
1.3.3 Percepción entre sacadas	20
1.3.4 Generación de sacadas	23
1.3.5 Rutinas visuales y procesamiento de la información visual	24
Vías visuales ventral y dorsal	24
Procesamiento de información visual I: Categorización perceptual	25
Procesamiento de información visual II: Rápido y ultra-rápido ¿cuán rápido el cerebro puede desenfundar una respuesta?	26
Procesamiento de información visual III: Rutinas visuales	27
1.3.6 Caminatas sobre distintos escenarios. Las caminatas no son al azar.	29
Lectura	29
Búsqueda visual	30
Imágenes naturales	30
1.4 Siguiendo el paso: El cerebro en su hábitat natural	31
1.4.1 Correlatos neuronales de lectura, búsqueda visual e imágenes naturales	31
Lectura	31
Búsqueda visual	32
Imágenes naturales	32
1.4.2 Siguiendo el paso: El cerebro en su hábitat natural	33
1.4.3 Antecedentes de EEG y seguimiento ocular	33
Caso 0: Thickbroom y Mastaglia (1985, 1986, 1990 y 1991)	33
Caso 1: Yuval-Greenberg y Deouell (2008)	34
Caso 2: Dimigen et al (2009)	35
Caso 3: Ossandon et al (2010)	36
Caso 4: Park y Corballis (2010)	36
2. Objetivos generales	37
3. Métodos generales	39
Participantes	39
Aparatos	39
Presentación de estímulos	39
Adquisición de datos de Seguimiento Ocular	39

Adquisición de datos de Electroencefalografía (EEG)	40
4. Resultados	41
4.1. PRP y tareas no simbólicas: Una prueba crítica para el modelo de cuello de botella secuencial.	41
Métodos específicos	41
Participantes	41
Estímulos y tareas	41
Procedimiento general	42
Análisis de los datos.	42
Resultados	43
Selección de la tarea y ejecución en una tarea doble de decisión analógica.	43
Efecto de SOA en los tiempos de respuesta (RTs) y las tasas de error	45
Efecto de la distancia, orden de la tarea y SOA en las tasas de error	46
Conclusiones	49
4.2. PRP y aprendizaje: Extendiendo el modelo en el tiempo.	51
Métodos específicos	51
Participantes	51
Procedimiento general	51
Estímulo y tareas	51
Análisis de datos	52
Resultados	54
¿Qué aspectos del desempeño en un protocolo de dos tareas cambia con el entrenamiento?	54
Cambios en la arquitectura de una tarea y contribuciones al RT durante el aprendizaje.	57
Relación entre el desempeño en un experimento de una y dos tareas: Desviaciones del modelo de cuello de botella pasivo.	60
Un modelo de decisiones anidadas.	64
Conclusiones	65
4.3. PRP y Esclerosis Múltiple: Evaluando déficits en una tarea doble y el modelo en pacientes.	68
Métodos específicos	68
Participantes	68
Evaluación neuropsicológica	68
Detalles de las tareas y la presentación de estímulos	69
Procedimiento general	70
Resultados	70
Resultados neuropsicológicos de los pacientes.	70
Manipulaciones en una tarea de comparación numérica: Efectos de la notación y la distancia numérica.	70
Efectos principales de notación y distancia numérica sobre los tiempos de respuesta en una tarea doble.	72
Conclusiones	74
4.4. Nuevos esquemas de organización serial/paralelo.	75
Métodos específicos	75
Participantes	75
Diseño experimental (y Experimento 1)	75
Experimento 2 (Enmascaramiento de la última presentación).	76
Experimento 3 (Responder el signo del primer sumando).	76
Experimento 4 (Anticipando la primer presentación).	76
Experimento 5 (Contexto temporal de la tarea).	77
Análisis de Datos	77
Resultados	77
Efectos de los factores experimentales principales en el desempeño en la tarea: SOA, distancia, y notación.	77
Determinantes críticos de la decisión	79
¿Es posible que un enmascaramiento perceptual explique el efecto LIFO?	81

¿A qué información (parcial) se tiene acceso de los estímulos? _____	83
Arquitectura cognitiva y contexto de la tarea _____	84
Conclusiones _____	85
4.5. La unidad del análisis de una escena visual: Procesamiento de información a lo largo de una fijación. _____	88
Métodos específicos _____	88
Adquisición de datos de seguimiento ocular _____	88
Detección del movimiento _____	88
Control del movimiento ocular _____	88
Estímulos _____	89
Experimento 1 (E1) _____	89
Experimento 2 (E2) _____	90
Experimento 3 (E3) _____	91
Experimento 4 (E4) _____	91
Rechazo de ensayos por el movimiento ocular _____	92
Consideraciones generales del análisis de los datos _____	92
Resultados _____	93
Consideraciones generales del experimento _____	94
Núcleo temporal de visibilidad _____	94
Asimetrías en el núcleo temporal de visibilidad _____	96
Capacidad de adquisición de información durante una fijación _____	99
Interacción entre eventos en una o dos fijaciones _____	102
Conclusiones _____	105
4.6. Reconocimiento temprano de objetos en una escena visual: Un estudio de movimientos oculares y EEG. _____	108
Métodos Específicos _____	108
Participantes _____	108
Experimento de free viewing: Una tarea de búsqueda visual _____	108
Diseño General _____	109
Pre procesamiento de los datos de EEG _____	109
Pre procesamiento de movimientos oculares _____	112
Análisis de potenciales evocados _____	113
Resultados _____	114
Conclusiones _____	121
5. <i>Discusión General</i> _____	123
6. <i>Referencias</i> _____	127
7. <i>Contribuciones y estado de los resultados</i> _____	141
8. <i>Agradecimientos</i> _____	142

Abreviaturas y términos en inglés

Protocolos y parámetros de comportamiento (generales):

SOA: Tiempo entre la presentación de dos estímulos, medidos entre la aparición del primero y la aparición del segundo. Del término en inglés *Stimulus Onset Asynchrony*.

ISI: Tiempo entre la presentación de dos estímulos, medidos entre la desaparición del primero y la aparición del segundo. Del término en inglés *Inter-Stimulus Interval*.

RT, RT1, RT2: Tiempo de Respuesta, medido desde la presentación del estímulo a menos que se detalle lo contrario. Del término en inglés *Response Time*. RT1 y RT2 se refieren a los tiempos de respuesta de la tarea 1 y 2 en un protocolo de dos tareas.

T1, T2, S1, S2: En los experimentos de dos tareas utilizamos T1 y T2 para referirnos a la tarea 1 y la tarea 2, y S1 y S2 para referirnos a los estímulos 1 y 2.

Target: En tareas con muchos estímulos, se refiere al estímulo que es necesario buscar o está asociado a la concreción de una tarea (sobre el que hay que operar, por ejemplo tomar una decisión).

PRP: Periodo Refractario Psicológico. Del término en inglés *Psychological Refractory Period*.

AB: Pestañeo Atencional. Del término en inglés *Attentional Blink*.

Lag: Separación entre *targets* dentro del Pestañeo Atencional o en una presentación secuencial, medido en número de elementos de la secuencia (Lag 1 son estímulos consecutivos). Del término en inglés *Attentional Blink*.

Lag 1 sparring: Efecto asociado al Pestañeo Atencional. Del término en inglés *Attentional Blink*.

RSVP: Protocolo de presentación rápida de una secuencia de estímulos visuales. Del término en inglés *Rapid Serial Visual Presentations*.

Protocolos de comportamiento y parámetros (particulares de alguna sección):

EM / CS: Denominación de los grupos en la sección 4.3, pacientes con esclerosis múltiple y controles sanos respectivamente.

BRB-MS: Del inglés *Brief Repeateble Battery for Multiple Sclerosis* (Rao, 1991). Bateria clásica para diagnóstico de esclerosis múltiple.

x_j, y_j, z_j : En la sección 4.4: Estímulos presentados a la derecha, izquierda y la diferencia respectivamente, para un elemento (j) de la secuencia.

d : En la sección 4.4: Suma de las diferencias en cada presentación.

E1, E2, E3, E4, E5: En la sección 4.5: Denominación de cada experimento.

Modelos simples:

r : Distancia logarítmica relativa.

z : Valor relativo de la referencia interna. Modelos para dependencia de los tiempos de respuesta o la tasa de error con la parametrización de la evidencia.

w : Fracción de Weber.

RDM / EZ-diffusion model / Wald: Modelos de toma de decisiones basados en procesos de difusión. RDM: Ratcliff Difusión Model.

Drift rate o : Deriva promedio en un proceso de difusión.

NDT: Tiempos de no-decisión. Del inglés *Non-Decision Time*.

a : Separación entre barreras en el proceso de difusión asociado a la decisión (umbral de decisión).

st : Variabilidad entre ensayos en el tiempo de no-decisión.

z : Sesgo en el punto de partida en el proceso difusivo. Modelos para distribuciones de tiempos de respuesta.

EZ-Reader / SWIFT: Modelos de lectura.

Análisis y estadística:

ANOVA: Análisis de la Varianza. Del término en inglés *Analysis of Variance*.

PCA: Análisis de componentes principales. Del inglés *Principal Component Analysis*.

PC1, PC2,... : Primer componente principal, segunda componente principal,... . Del inglés *Principal Component*.

Arquitectura y esquemas de procesamiento de información:

Task setting / Task engaging: Proceso dentro una tarea relacionado a la organización de la secuencia de pasos que le siguen para

resolverla, o en el caso de dos tareas la organización de procesos asociados a ambas tareas. También engloba otros procesos asociación a la captura de la atención para iniciar una tarea.

Task disenganging: Proceso asociado a la liberación de la atención luego de completar la tarea.

FIFO / LIFO: Del inglés *First-In First-Out* y *Last-In First-Out* (o *First-Come First-Serve* y *Last-Come First-Serve*). Políticas de organización de ejecución de operaciones: Primero-entrado primero-salido y Último-entrado primero-salido.

Top-down: Modulación de áreas o funciones cognitivas superiores como la atención sobre la percepción.

Feedforward: Esquema de transmisión de la información, donde esta fluye desde los órganos sensoriales hasta áreas de procesamiento superiores.

Fisiología:

EEG: Electroencefalografía o electroencefalograma. Se refiere a la técnica o al equipo de medición de potenciales eléctricos en la superficie del cráneo, que fueron producidos por la actividad cerebral.

MEG: Magnetoencefalografía.

fMRI: Resonancia magnetic funcional. Del inglés *Functional Magnetic Resonance Image*.

EOG: Electrooculograma.

ERP: Potencial evocado por un evento. Típicamente cuando se realiza un experimento de EEG en donde se presentan estímulos y se estudia la respuesta en potencial a tiempos cortos alineados a esta presentación (el evento). Del término en inglés *Event-Related Potential*.

fERP: En la sección 4.6 presentamos potenciales evocados no ante una presentación, si no ante el inicio de una fijación, a los que llamamos fERPs. Del término en inglés *Fixation Event-Related Potential*.

ROI: Del inglés *Region of Interest*.

P1, N1, N170, P3, N400: Componentes clásicas de una secuencia de ERPs. La letra denota la polaridad (N: Negativo, P: Positivo) en el canal donde se observan las respuestas de mayor amplitud, o las que se reportan típicamente, y el número hace referencia a la latencia.

Por ejemplo, para estímulos visuales, P1 es una positividad a los 100 ms en canales occipitales, N1 es una negatividad entre los 150 y 200 ms también en canales occipitales, P3 es una positividad entre los 300 y 500 ms en canales centrales, etc (Luck, 2005). Es importante notar que cuando se usa el promedio como referencia en EEG muchas veces una positividad en algunos canales puede llegar a representar una negatividad en otros, ya que las fuentes están generalmente representadas por dipolos. En el mismo sentido, las topologías asociadas a cada componente dependen la referencia utilizada.

Áreas del cerebro:

Mantuvimos las siglas para las regiones cerebrales que no tengan una traducción unívoca al castellano o que sean comúnmente encontradas en la bibliografía como sigla, de forma que sea más fácil de asociar con las referencias.

LIP: Del inglés *Lateral Infero – Parietal cortex*.

FEF: Del inglés *Frontal Eye Field*.

IT: Del inglés *Infero Temporal cortex*.

MT: Del inglés *Medial Temporal lobe*.

OF: Del inglés *Orbito frontal cortex*.

PFC: Del inglés *Prefrontal cortex*.

V1, V2, V4: Regiones de la corteza visual.

1. Introducción

1.1 Hoja de ruta

La introducción, si bien no es exhaustiva en los temas que trata, intenta hacer un paneo de todos ellos guiando en las referencias y motivando los experimentos que se presentan en el capítulo 4. A su vez presenta los experimentos con la coherencia y el marco teórico en el que fueron concebidos. En el capítulo 3 se presentan métodos generales, y en el capítulo 4 los resultados con los métodos específicos de cada sección (cada experimento o serie de experimentos). Esta decisión en términos de presentación –aunque resulte entrecortado– se basa en que en todos los casos los métodos, la tarea, los detalles de los modelos o del análisis, son relevantes para entender los resultados y distintos entre secciones. En cada sección de resultados se incluyen conclusiones específicas y al final se presenta una discusión en línea con la introducción y los objetivos generales (capítulo 2). *Bon appetit!*

1.2 Mirando fijo al mundo

En la primera parte de la introducción nos concentraremos en procesos cognitivos centrales disociados de una modalidad sensorial específica. En primer lugar esto quiere decir que si bien los experimentos tienen un sesgo visual, los objetivos y las conclusiones son generales. En segundo lugar que el diseño de los experimentos tiene un fuerte componente de laboratorio, donde todos los parámetros del experimento son controlados por el experimentador y el mejor sujeto es el que puede embeberse por completo en la tarea y realizar el experimento sin mover más que el miembro efector de la respuesta. El sujeto ideal en este caso sería simplemente un cerebro aislado en un vaso de precipitados sobre el cual introducir estímulos y leer respuestas, cualquier desviación de esa situación es considerada ruido. En las siguientes secciones de la introducción iremos alejándonos de esta idea.

1.2.1 Sintaxis y arquitectura de procesos cognitivos

Muchas teorías cognitivas comparten la hipótesis de que la mayoría de las operaciones mentales y neuronales son modulares y que se requiere una arquitectura dedicada a establecer conexiones flexibles entre dichos módulos (Baars, 1989; Crick y Koch, 2003; Chun y Potter, 1995; Dehaene, *et al.*, 1998; Edelman y Tononi, 2000; Felleman y Van Essen, 1991; Koch, 2004; Posner y Dehaene, 1994; Shallice, 1988). Una propuesta es que esta arquitectura flexible, capaz de direccionar información de acuerdo a un programa arbitrario puede dar lugar a cuellos de botella en el procesamiento de información debido a un funcionamiento serial (Zylberberg, *et al.*, 2010). Estos cuellos de botella son de hecho ubicuos en los protocolos experimentales que involucran más de una tarea.

Estos experimentos de interferencia constituyen una herramienta muy poderosa para entender la organización interna y la arquitectura de una tarea cognitiva. La lógica de estos experimentos –los cuales han sido extensamente explorados en la investigación en psicología– evoca la metodología clásica de *scattering* en física, donde la estructura interna de un elemento (partícula, molécula,...) es entendida a partir de la colisión con una sonda experimental.

Por ejemplo cuando dos tareas son presentadas simultáneamente, o secuencialmente en intervalos breves de tiempo –típicamente menores a 500 ms–, se observa un retraso sistemático en la ejecución de la segunda tarea, este fenómeno se

denomina Periodo Psicológico Refractario (*Psychological Refractory Period, PRP*) (Kahneman, 1973; Pashler y Johnston, 1989; Smith, 1967; Telford, 1931). Distintos aspectos asociados a PRP serán directamente tratados en las secciones 1, 2 y 3 de resultados, y también serán considerados en la sección 4. El otro fenómeno de interferencia por excelencia es el Pestañeo Atencional (*Attentional Blink, AB*) (Chun y Potter, 1995; Raymond, *et al.*, 1992), donde se les pide a los sujetos reportar dos *targets* embebidos en un secuencia rápida de distractores –presentados cada 60 o 100 ms–, se observa una disminución en la probabilidad de reportar el segundo estímulo, que se recupera a los 500 ms. Algunos aspectos de este segundo fenómeno serán considerados en la sección 4 de resultados, y una variación del AB será utilizada en la sección 5.

1.2.3 Mapeo del cuello de botella de PRP

En un experimento típico de PRP, el sujeto debe resolver dos tareas que generalmente involucran modalidades sensoriales y efectores motores separados –i.e. una tarea visual y otra auditiva que se responden con las dos manos, o con una mano y la voz–. El tiempo entre el inicio de cada una de las tareas (*Stimulus Onset Asynchrony, SOA*) es el parámetro principal que modula el fenómeno; si es muy grande el sujeto responde normalmente a ambas tareas, y a medida que el SOA disminuye se observa un retraso sistemático en el tiempo de respuesta a la segunda tarea (RT2), mientras que el tiempo de respuesta de la primer tarea (RT1) no cambia (Pashler, 1984). Este retraso es tal que por cada milisegundo que disminuye el SOA el RT2 se incrementa en la misma cantidad, dando lugar a un patrón de interferencia como el que se presenta en la Figura 1.2.1B (el RT2 en función del SOA disminuye con pendiente -1 hasta cierto valor máximo a partir del cual es constante). Este resultado puede ser fácilmente explicado en un esquema en donde existe un procesamiento estrictamente secuencial, de forma que ciertos aspectos de la tarea 2 (T2) no pueden ser procesados hasta que no sean completados los de la tarea 1 (T1) (Pashler, 1984).

Basado en numerosos experimentos en los que se manipula la diferencia de tiempos entre el inicio de cada tarea (*Stimulus Onset Asynchrony, SOA*), el orden de la tareas, y otros factores que afecten sólo a una o a ambas tareas, se concluyó que, mientras que las operaciones sensoriales y motoras pueden ser procesadas en paralelo, la coordinación entre estos módulos para mapear un estímulo en una respuesta establece el cuello de botella en el procesamiento, dando lugar al PRP (Pashler, 1994; Pashler y Johnston, 1989, 1998; Ruthruff, Pashler, *et al.*, 2001; Schweickert, 1980; Schweickert y Townsend, 1989; Sigman y Dehaene, 2005, 2006; Sternberg, 1969). La evidencia más convincente a favor de este modelo proviene, en psicología experimental, de experimentos en los cuales las duraciones de las distintas etapas son manipuladas para distintos valores de SOA (Pashler y Johnston, 1989; Posner, 2005; Schweickert, 1980). La lógica de estos experimentos es simple, y un ejemplo que sirve para ilustrar las ideas principales es el siguiente: Manipular la duración de una etapa de procesamiento previa al cuello de botella en la segunda tarea (T2) no debería afectar al tiempo de respuesta (RT) –no vale la pena apurarse y llegar rápido si en el lugar todavía hay cola...–, como en la Figura 1.2.1 (comparar paneles A y C). Esta observación se replicó en numerosos diseños experimentales.

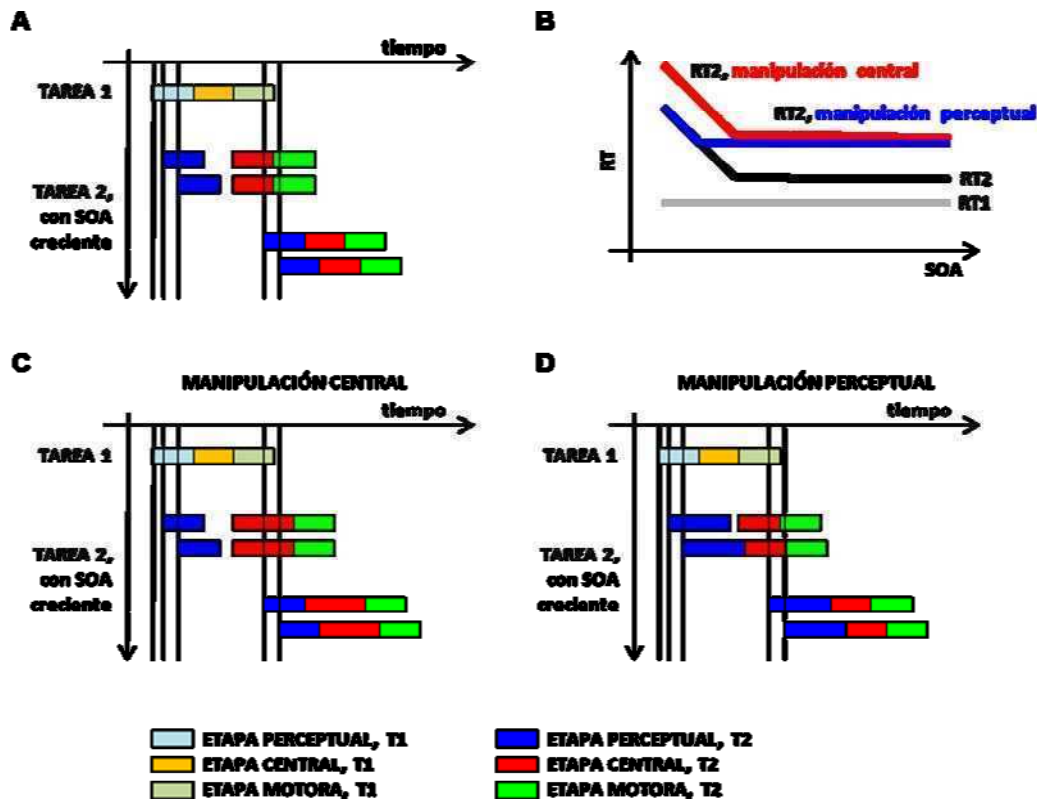


Figura 1.2.1: Esquema del modelo de cuello de botella (A) y efecto de las manipulaciones experimentales sobre parámetros centrales (C) y perceptuales (D), como por ejemplo la distancia numérica y la notación del número respectivamente. Cada tarea puede separarse en tres etapas (perceptual, central y motora). Mientras que el RT1 no cambia con el SOA (B, curva negra), el RT2 dentro del régimen de interferencia disminuye con pendiente -1 con el SOA, y se vuelve constante para SOAs largos, generando un “codo” en la curva. Las manipulaciones que afectan el proceso central, aumenta la duración de una etapa central (B, curva negra), posterior al cuello de botella, y por lo tanto desplaza toda la curva hacia RTs más lentos (curva roja). Mientras que las manipulaciones que afectan el proceso perceptual, aumenta la duración de una etapa perceptual, previo al cuello de botella, y por lo tanto para SOAs cortos el efecto es absorbido (curva azul).

También existe evidencia a favor de esta secuencia y organización de procesos mentales proveniente de estudios de neuroimágenes en diseños experimentales con dos tareas. En estudios de potenciales evocados (*Event Related Potentials, ERPs*) se muestra como algunos componentes de la señal no son afectadas por la interferencia, reflejando procesamiento en paralelo, mientras que otros son retrasados y por lo tanto seriales (Arnell y Duncan, 2002; Arnell, *et al.*, 2004; Brisson y Jolicoeur, 2007; Dell'acqua, *et al.*, 2005; Jolicoeur, *et al.*, 2008; Luck, 1998; Osman y Moore, 1993; Sessa, *et al.*, 2007; Sigman y Dehaene, 2008). Por ejemplo, en el estudio de ERPs de Sigman y Dehaene (2008), en el cual la primera tarea (T1) era una comparación numérica visual, y la segunda tarea (T2) era de discriminación de tonos (auditiva), se encontró que el pico de la componente sensorial temprana de T2 (una onda N1 auditiva) ocurría a un tiempo fijo de la presentación del estímulo 2 (S2), indicando que las etapas perceptuales de T2 ocurrían en paralelo con T1. Sin embargo, el pico de la onda P3 asociada a T2 mostró un retraso estrictamente serial con T1, esta es una componente ubicua en los estudios de ERPs mayormente distribuida entre fuentes parietales, temporales y frontales, y que se la asocia a memoria de trabajo, percepción consciente y uso flexible de la información (Donchin y Coles, 1998) (Figura 1.2.2). Este resultado encaja perfectamente en las predicciones del modelo de cuello de botella serial (Sigman y Dehaene, 2008).

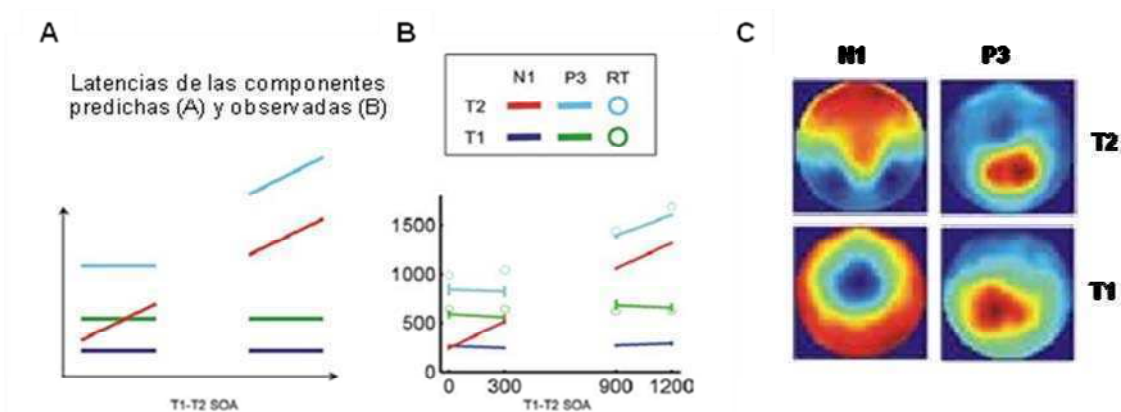


Figura 1.2.2: A) Predicciones del modelo de cuello de botella (Figura 1) para la latencia de las componentes medidas desde el *onset* de T1, en vez desde el *onset* de cada tarea como en la Figura 1. B) Las latencias observadas están en extrema concordancia con las predichas. C) Topología de las componentes perceptuales (N1 visual y auditiva) y centrales (P3 visual y auditiva) (Sigman y Dehaene, 2008)

Un aspecto importante de este modelo es que los tiempos de ocurrencia, pero no las características (duración, precisión, variabilidad, etc...), de cada proceso son afectados por la interferencia (Figura 1.2.1). Más allá de las medidas puramente cronométricas, este modelo establece una predicción crítica sobre las tareas de decisión simples: “*Si las etapas de procesamiento involucradas en la tarea cognitiva son simplemente reorganizadas, los errores asociados a la decisión no deberían verse afectados por la aparición de otra tarea.*” En la sección 4.1 evaluaremos esta hipótesis de forma cuantitativa, explorando la distribución de errores en un experimento de dos tareas, involucrando tareas de decisión no simbólicas.

1.2.4 Introspección cuantitativa

Las medidas introspectivas –el reporte subjetivo del participante sobre su propio desempeño– fueron dejadas a un lado por mucho tiempo en la psicología experimental, sin embargo en los últimos años una serie de estudios mostraron que pueden ser medidas robustamente (Corallo, *et al.*, 2008; Graziano y Sigman, 2009; Marti, *et al.*, 2010), así como también es posible indagar en sus correlatos neuronales (Del Cul, *et al.*, 2007; Graziano, *et al.*, 2010; Lutz, *et al.*, 2002; Sergent, *et al.*, 2005).

Dos trabajos investigan medidas introspectivas asociadas a PRP (Corallo, *et al.*, 2008; Marti, *et al.*, 2010). En el primero (Corallo, *et al.*, 2008) se midieron los RTs y los sujetos debieron reportar el tiempo que creían tardar en responder (*Introspective response times, iRT*). Durante la interferencia entre las dos tareas, se observó una clara disociación entre los RTs y los iRTs: Mientras que los RTs dependen fuertemente del SOA –como se describió más arriba–, los iRTs son claramente insensibles al SOA; esto es sorprendente teniendo en cuenta que en un experimento control los mismos sujetos fueron muy precisos al reportar sus tiempos de respuesta y que para SOAs cortos el RT2 puede llegar a duplicarse. Este resultado indica que los sujetos sólo tienen acceso al procesamiento de T2, cuando de hecho la están resolviendo, y no cuando están procesando T1. En un segundo trabajo (Marti, *et al.*, 2010), se les pide a los sujetos un reporte más detallado de los tiempos de resolución de la tarea en cada ensayo –el tiempo de respuesta de cada tarea, el tiempo entre estímulos, si T2 fue presentado antes o después de tomar la decisión asociada a T1–, los sujetos son capaces de responder robustamente a todas estas preguntas, y de forma muy interesante se logra reconstruir los RTs medidos, pero nuevamente los sujetos

muestran no tener acceso al tiempo en el que T2 espera la resolución de T1 para ser procesado.

Otra medida subjetiva muy utilizada es responder ante la presencia de un *target* de forma graduada, reportando no sólo la decisión sino también la confianza en dicha decisión, esta medida ha resultado muy robusta e informativa en distintos paradigmas como Pestaño Atencional (Sergent, *et al.*, 2005; Sergent y Dehaene, 2004), Enmascaramiento (Del Cul, *et al.*, 2007) o Reporte parcial espacial (*efecto Sperling*) (Graziano, *et al.*, 2010; Graziano y Sigman, 2009)¹. En la sección 4.5 se presentarán reportes de confianza respecto de la presencia de un *target*, embebido en una secuencia de movimientos oculares.

1.2.5 Múltiples cuellos de botella en PRP

Mientras que el cuello de botella debido a la selección de la respuesta es la principal fuente del PRP, evidencias psicofísicas y psicológicas sugieren que existen alejamientos sistemáticos de este modelo secuencial simple (Allport, *et al.*, 1994; De Jong, 1993; Jentzsch, *et al.*, 2007; Logan y Gordon, 2001; Meiran, *et al.*, 2000; Ruthruff, Pashler, *et al.*, 2001; Sigman y Dehaene, 2006). En un experimento clásico de PRP, las respuestas a T1 son independientes del SOA, aunque más lentas que cuando la tarea es presentada aislada –i.e. no seguida de otra tarea– (Jiang, *et al.*, 2004; Sigman y Dehaene, 2005). Una posibilidad, planteada por Sigman y Dehaene (2006) y en esta tesis, es que esta diferencia se deba a una etapa de control ejecutivo necesaria para iniciar la sucesión de tareas (*task-setting* o *task-engaging*), previa a la ejecución de la primer tarea². La hipótesis en ese trabajo es que en situaciones donde el orden es desconocido, el tiempo consumido por este proceso ejecutivo debería aumentar, reflejando una estructura jerárquica en los procesos de toma de decisiones: Primero se decide en qué orden se ejecutan las tareas, y segundo se desarrolla la decisión específica involucrada en cada tarea. Esta hipótesis fue evaluada en una serie de experimentos de los que se concluyó que en una situación de incerteza, los componentes ejecutivos (*task-engaging* y *task-disengaging*) deben ser tenidos en cuenta para poder ajustarse a una amplia gama de observaciones experimentales (Sigman y Dehaene, 2006).

La evidencia de dichos componentes ejecutivos también puede ser encontrada en estudios de electrofisiología en humanos, con paradigmas de PRP. En el mismo estudio de ERPs mencionado anteriormente (Sigman y Dehaene, 2008) se puede observar que, en primer lugar, la amplitud de la componente N1 asociada a T2 decrece levemente en el régimen de interferencia. Segundo, el curso temporal de esta misma componente se inicia antes de la presentación del estímulo (S2), reflejando probablemente la preparación y la expectación en la siguiente tarea. Finalmente, la componente P3 asociada a T2 para SOAs largos, está presente antes de que S2 (tono auditivo) se presente. Esta respuesta anticipatoria, cuyo pico se encuentra alrededor de 500 ms después de S1, coincide con el final de la componente P3 evocada por T1 (Sigman y Dehaene, 2008). Esta secuencia de ERPs es compatible con la hipótesis de que tan pronto como T1 es completada, los sujetos reorientan su atención para preparar T2, reflejando así posibles correlatos neuronales de los procesos de *task-engaging* y *task-disengaging* (De Jong, 1993; Logan y Gordon, 2001; Meiran, *et al.*, 2000; Ruthruff, Pashler, *et al.*, 2001; Sigman y Dehaene, 2006). Además, se sugiere que la ausencia de control atencional *top-down* podría explicar las atenuaciones en

¹ Estos paradigmas serán explicados con más detalle en las secciones que siguen.

² También se reporta un componente de finalización de la primer tarea, y paso a la segunda (*task-disengaging*), del que no nos ocuparemos en esta tesis.

amplitud observadas durante la interferencia (Gilbert y Sigman, 2007). Resumiendo, estos resultados indican que los experimentos de PRP involucran tanto un cuello de botella central como a un proceso activo de direccionamiento de la atención hacia las distintas tareas.

1.2.6 ¿Se puede evitar el cuello de botella en PRP? Efectos de la práctica en la interferencia entre dos tareas

Otro aspecto no resuelto que atrajo la atención de muchos investigadores en psicología cognitiva alrededor de PRP es si el uso de recursos centrales (intrínsecamente seriales) puede ser evitado por medio del entrenamiento intensivo³ o utilizando pares estímulo–respuesta que posean un mapeo muy “natural” o de alta compatibilidad ideomotora (McLeod, 1977; Posner y McLeod, 1982), como responder con la mano derecha si aparece una flecha apuntando a la derecha (Greenwald y Shulman, 1973; Lien, *et al.*, 2005; Pashler, *et al.*, 1993; Schumacher, *et al.*, 2001). Resultados recientes sugieren que, inclusive bajo estas condiciones, el cuello de botella debido al procesamiento central puede ser reducido pero completamente eliminado (Lien, *et al.*, 2005). Es decir que el establecer un mapeo temporario entre procesadores independientes involucra una etapa de procesamiento estrictamente serial, que puede ser reducida pero no eliminada (Greenwald, 2003; Lien, *et al.*, 2005; Lien, *et al.*, 2002).

Logan y colaboradores han estudiado extensivamente el proceso de automatización usando una tarea de aritmética alfabética – *alphabet arithmetic task* (por ejemplo $H + 3 = K$) – (Compton y Logan, 1991). Basados en los reportes subjetivos y en un análisis del curso temporal de la variabilidad del RT a lo largo del aprendizaje, proveen evidencias sustanciales a favor de un modelo de carreras entre estrategias –*race model*–. De acuerdo a este modelo, conviven diferentes estrategias para resolver una única tarea: un algoritmo de cálculo y un proceso de evocación de la memoria. Estos dos mecanismos operan simultáneamente y la selección se determina por una carrera –el que termina primero gana–. Durante el aprendizaje, el proceso de memoria se consolida y se va volviendo más rápido que el algoritmo de cálculo, de modo de dominar la carrera y dar lugar a un comportamiento automático (Compton y Logan, 1991). Una hipótesis importante de este modelo es que la práctica no afecta cualitativamente la organización del sistema, sólo cambia los parámetros en una arquitectura invariante. Otra evidencia de este cambio progresivo con el entrenamiento en el proceso de automatización proviene de un estudio en el que la tarea de aritmética alfabética, a distintas etapas del entrenamiento, fue realizada en conjunto con una tarea de habla (Klapp, *et al.*, 1991a, 1991b).

1.2.7 Los modelos de caminatas al azar pueden descomponer distintas etapas en una tarea cognitiva

Prácticamente toda la investigación en PRP –incluyendo los estudios en los efectos del entrenamiento– se ha enfocado exclusivamente en los RTs promedio. Sin embargo, es posible que ciertos efectos del entrenamiento no afecten directamente los RTs promedio, pero si cambien las contribuciones relativas al RT de distintas etapas de procesamiento. Alternativamente, por supuesto, el aprendizaje puede resultar en una combinación de ambos efectos.

³ Este proceso es generalmente referido como *Automatización*.

Otra corriente separada de investigación se concentró en cómo se alcanza una decisión –y una respuesta–. Los procesos de toma de decisiones han sido comúnmente modelados como un integrador ruidoso que acumula información proveniente del sistema sensorial, en muchas modalidades y bajo distintos formalismos (Gold y Shadlen, 2001; Link y Heath, 1975; Luce, 1986; Machens, *et al.*, 2005; Ratcliff, 1988; Schall, 2001; Shadlen y Newsome, 1996; Usher y McClelland, 2001; Vickers, 1970; Wong y Wang, 2006).

A pesar de que han sido propuestas muchas variantes, la idea básica es que en el proceso de decisión la evidencia perceptual es acumulada estocásticamente en el tiempo. Esta evidencia perceptual es una variable interna abstracta –una transformación de la información perceptual en las dimensiones relevantes para la decisión, por ejemplo el valor de un número, de intensidad, etc–. Y la integración resulta en una caminata al azar sobre esta dimensión hasta alcanzar un umbral, momento en el que se inicia la respuesta. De hecho, en muchas circunstancias, ese mecanismo de decisión puede ser óptimo en el sentido que maximiza la verosimilitud de la clasificación correcta de los estímulos presentados (Edwards, 1965; Laming, 1968).

Dentro de este marco, es posible elegir ajustar las distribuciones de tiempos de respuesta con un modelo elaborado o con un modelo comparativamente más simple. A continuación se describen algunas variantes que son relevantes a este trabajo –revisiones más detalladas de modelos de difusión pueden encontrarse en Luce (1986), Ratcliff y Smith (2004) y Ratcliff y Tuerlinckx (2002)–.

Los modelos de difusión con dos barreras (Ratcliff y McKoon, 2008; Ratcliff y Rouder, 1998) han sido muy exitosos al explicar con gran detalle tareas de decisión forzada entre dos opciones (Figura 1.2.3A), incluyendo una variedad de observaciones sobre los RTs en los ensayos con respuestas incorrectas. Una de las críticas al modelo completo de dos barreras es que posee una gran cantidad de parámetros, un proceso de ajuste de parámetros complejos (Diederich y Busemeyer, 2003; Ratcliff y Tuerlinckx, 2002) y una gran cantidad de ensayos correctos e incorrectos, que a su vez requiere que el sujeto cometa muchos errores o realice una cantidad aún mayor de ensayos –en tareas en las que el porcentaje de correctos es del 80% o más–. Por lo que se han propuesto diferentes simplificaciones al modelo completo.

Wagenmakers y colaboradores –en el *EZ-diffusion model* (Wagenmakers, *et al.*, 2007)– simplificaron el modelo completo incluyendo sólo los parámetros del modelo de Ratcliff que ellos consideraban psicológicamente más relevantes (Figura 1.2.3B): el *drift rate* (i.e la calidad de la información o cuanto se separa la señal relevante del ruido), la separación entre barreras a (i.e. cuán conservadora era la respuesta o cuánto hay que integrar para lograr una respuesta) y un tiempo de no-decisión aditivo T_0 (o *non-decision time*, *NDT*). Bajo estas simplificaciones, derivaron una solución analítica para la media y la varianza del RT, y el porcentaje de errores en función de los parámetros antes mencionados; e invirtiendo esta relación es posible calcular analíticamente los tres parámetros de los datos experimentales (Grasman, *et al.*, 2009; Wagenmakers, van der Maas, *et al.*, 2008; Wagenmakers, *et al.*, 2007), sin necesidad de simulaciones ni de un número muy elevado de ensayos (Wagenmakers, *et al.*, 2007).

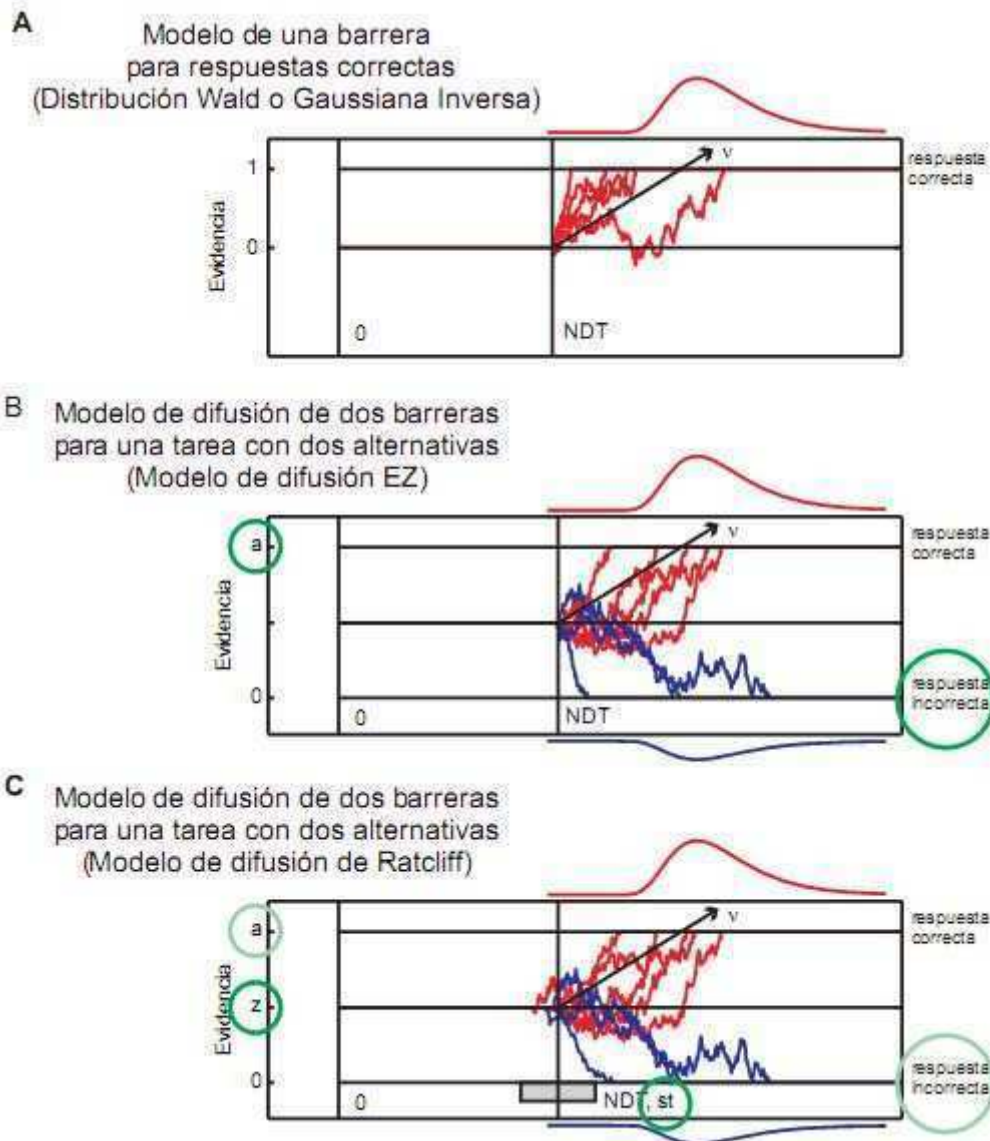


Figura 1.2.3 A) Modelo de una barrera (Wald). Se fija la separación entre barreras ($a=1$) y el coeficiente de difusión (σ) para todas las condiciones, y se ajustaron las distribuciones de RT para las respuestas correctas con dos parámetros $\{v, NDT\}$. B) Modelo de difusión EZ. Este modelo incorpora la segunda barrera que da cuenta de los errores. En este modelo no es considerada la variabilidad ensayo a ensayo de los parámetros, ni el sesgo inicial. Bajo estas hipótesis los parámetros $\{a, v, NDT\}$ pueden ser obtenidos analíticamente a partir de las variables medidas: $\{MRT, VRT, Pc\}$. C) Una versión apenas simplificada del modelo de difusión completo de Ratcliff (RDM): En este modelo se incorporan al conjunto de parámetros el sesgo inicial en la respuesta (st) y la variabilidad ensayo a ensayo del tiempo de no respuesta (z).

Un modelo aún más simple postula una difusión hasta una única barrera (Figura 1.2.3C) (Gold y Shadlen, 2001; Heathcote, 2004; Link, 1992; Link y Heath, 1975; Luce, 1986; Schwarz, 2001; Sigman y Dehaene, 2005). Esta estrategia de modelado sólo es válida en los casos en los que la tasa de error es muy baja ya que ignora la posibilidad que una segunda barrera pueda absorber trayectorias. Este modelo es muy usado en tareas con una decisión de una única alternativa, pero también en decisiones de dos alternativas como en procedimientos de *go / no-go* (Schwarz, 2001). Los parámetros son los mismos que el modelo EZ (i.e. v , a and NDT). Una ventaja del mismo es que existe solución analítica para la distribución entera –llamada Wald o Gaussiana Inversa– y por lo tanto se pueden estimar los

parámetros ajustando la distribución sin simular explícitamente la caminata al azar (Figura 1.2.3C).

Como en cualquier investigación científica, elegir un modelo adecuado impone un compromiso entre la complejidad del modelo (o la cantidad de parámetros) y una descripción más precisa (el principio de la navaja de Occam). En la sección 4.2 hemos optado por un procedimiento de modelado incremental, comenzando por el modelo más simple capaz de describir las observaciones de estos experimentos y progresivamente agregamos parámetros para acercarnos a modelos más detallados (Figura 1.2.3). Como en otros estudios teóricos (Gold y Shadlen, 2002; Heathcote, 2004; Link, 1992; Link y Heath, 1975; Luce, 1986; Schwarz, 2001; Sigman y Dehaene, 2005, 2006) comenzamos utilizando el esquema más simple, ajustando las distribuciones de tiempos de respuesta a un modelo de decisión de una única barrera de valor fijo, es decir que reducimos el modelo más simple un paso más. Este modelo asume que toda la varianza proviene de la decisión en si misma e implícitamente que, dado que la tasa de error es muy baja, una sola barrera es suficiente para describir la decisión entre dos alternativas (Figura 1.2.3C). Como estas restricciones no son muy frecuentes en estudios de distribuciones de RT, hemos expandido progresivamente el modelo para evaluar si bajo hipótesis más amplias y realistas nuestras observaciones se mantenían estables. En primer lugar extendimos el modelo de una barrera (con dos parámetros) al modelo de Wagenmakers (EZ), la principal diferencia es que al tener dos barreras tiene en cuenta los errores –aunque sean pocos– e incorpora el valor de las barreras (a) como parámetro (Figura 1.2.3B). El modelo EZ continua restringiendo la variabilidad del tiempo de respuesta al proceso difusivo en si mismo, por lo que extendimos el modelo de Ratcliff, que incorpora variabilidad en el tiempo de no-decisión (st) y un posible sesgo inicial en la decisión (z) (Figura 1.2.3A). Exploraremos la robustez y la plasticidad de las diferentes contribuciones a los cuellos de botella durante el entrenamiento en un experimento de PRP. Examinaremos los cambios en las distribuciones de RT, estimando los parámetros con distintos modelos, e investigaremos la evolución de estos parámetros a través del aprendizaje para determinar qué componentes de los cuellos de botella del procesamiento se mantienen o varían con el entrenamiento intensivo.

1.2.8 Comparaciones sobre estímulos simbólicos y no simbólicos

En una comparación numérica, como en la mayoría de las decisiones basadas en una comparación unidimensional, el grado de discrepancia entre dos estímulos puede ser determinado por su cociente, denominada comúnmente fracción de Weber (Cordes, *et al.*, 2001; Dehaene, 2007; Piazza, *et al.*, 2004; Pinel, *et al.*, 2004; M. Van Oeffelen y P. G. Vos, 1982), que establece una medida de la resolución del proceso de toma de decisión. Los modelos descritos en la sección anterior han sido usados indistintamente para tareas simbólicas y no simbólicas; sin embargo, la aparición de los símbolos presenta una diferencia cualitativa y cuantitativa importante (Dehaene, 2007; Dehaene, *et al.*, 1990; Gallistel y Gelman, 2000; Harnad, 1990). Por ejemplo, se ha mostrado que el mapeo de la cantidad a una línea continua cambia generalmente de escala logarítmica a lineal con el uso de símbolos (Dehaene, 2007). Este fenómeno ha sido mostrado tanto en desarrollo (Siegler y Opfer, 2003) como en estudios transculturales (Pica, *et al.*, 2004). Las diferencias han sido explicadas por modelos teóricos que predicen la existencia de neuronas que codifican únicamente la información de cantidad o que fueron pareadas con la información simbólica. Estas neuronas desarrollan campos receptivos para la cantidad con distribuciones asimétricas en la escala numérica lineal, cuya dispersión se incrementa con la cantidad, y se vuelven gaussianos con dispersión fija sobre la escala logarítmica (Nieder y Dehaene, 2009; Nieder y Miller, 2003). Esas mismas neuronas muestran a

su vez campos receptivos finamente calibrados en la escala lineal –gaussianos con dispersiones pequeñas– cuando se las estimula con cantidades simbólicas (Nieder, 2005; Nieder y Dehaene, 2009; Nieder y Miller, 2003; Verguts y Fias, 2004). Ya que en los modelos de difusión se asume que la evidencia sensorial proviene de esas neuronas, estas diferencias pueden volverse muy importantes al modelar decisiones simbólicas o no simbólicas (Brody, *et al.*, 2003; Deco y Rolls, 2006). El éxito de la estrategia de modelado en ambos sustratos puede deberse en parte, al hecho que las operaciones simbólicas parecen no evitar completamente el circuito altamente automático de las operaciones no simbólicas –que probablemente funciona por defecto– (Dehaene, Piazza, *et al.*, 2003; Duncan y McFarland, 1980; Moyer y Landauer, 1967; Pica, *et al.*, 2004). Así es que, las diferencias fundamentales en la relación entre los tiempos de respuesta y los errores imponen importantes desafíos a los modelos formales de acumulación.

En los estudios previos en los que se investigó la distribución de RTs en un experimento de dos tareas usando modelos de acumulación (Sigman y Dehaene, 2005, 2006), las tasas de error eran muy bajas para ser tenidas en cuenta, al igual que la covarianza entre las tasas de error y la media o la varianza de los tiempos de respuesta, por lo que las predicciones de los modelos de acumulación en este sentido no pudieron ser evaluadas (Dehaene, 2007; Luce, 1986; Pachella, 1973; Ratcliff, 2002; Ratcliff y Rouder, 1998; Wagenmakers y Brown, 2007; Wagenmakers, *et al.*, 2007). En la sección de resultados 4.1 estudiaremos el desempeño en dos tareas no simbólicas concurrentes, en las cuales las tasas de error pueden ser manipuladas paramétricamente desde el azar hasta el desempeño casi perfecto.

1.2.9 Pestañeo atencional

En el experimento original de Raymond y colaboradores (1992), se les presentaba a los sujetos una secuencia rápida de letras (cada 90 ms; *rapid serial visual presentation, RSVP*); dentro de esa secuencia había dos *targets* –una letra en otro color (T1) y una X (T2)– (Figura 1.2.4A). En el primer caso (control), en que los sujetos debían ignorar T1 y responder a T2, el porcentaje de respuestas correctas era cercano al 100% independientemente de la posición relativa en la secuencia de las dos tareas –comúnmente denomina *lag*– (Figura 1.2.4B), mientras que cuando los sujetos debían identificar T1 y luego responder sobre T2 se observa una clara interferencia entre los estímulos: 1) El porcentaje de respuestas correctas para T2 dado que identificaron T1, $P(T2|T1)$, decrecía para *lags* menores a 6 (tiempos menores a 540 ms); y 2) Para el *lag* 1 se observaba un porcentaje similar en ambas situaciones (Raymond, *et al.*, 1992) (Figura 1.2.4B). Estos resultados fueron ampliamente replicados (Chun y Potter, 1995; Dux y Marois, 2009; Ferlazzo, Fagioli, *et al.*, 2007; Hommel, *et al.*, 2006; Jolicoeur, 1999; Sergent, *et al.*, 2005).

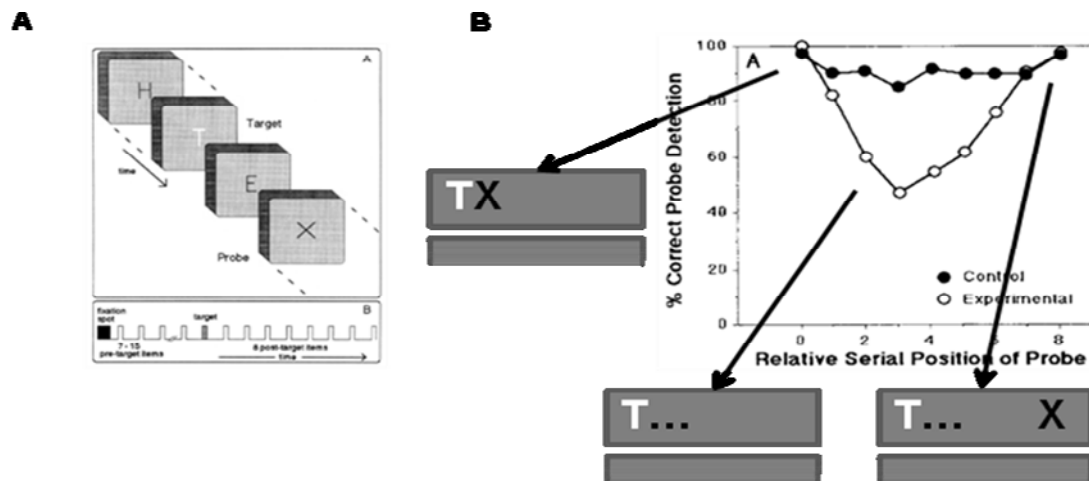


Figura 1.2.4 A) en el protocolo original de pestañeo atencional se presentan dos tareas, en la primera es necesario responder la identidad de la letra presentada en otro color y luego reportar la presencia o no de la X (Raymond, *et al.*, 1992). B) Cuando sólo hay que reportar la presencia de la X (curva negra) se observa que los participantes son capaces de detectarla casi perfectamente, sin embargo cuando hay que resolver ambas tareas (curva blanca) el porcentaje de respuestas correctas baja significativamente entre el lag 2 y 6 (entre 180 y 540 ms). En esta figura también se puede notar que el desempeño en el primer lag no está afectado (*lag 1 sparring*).

Si bien existe una gran variedad de modelos (Dux y Marois, 2009; Hommel, *et al.*, 2006; Zylberberg, *et al.*, 2009), la idea general es que la información visual es incorporada rápidamente en *buffers* sensoriales, que luego son transferidos a la memoria de trabajo o utilizados para operaciones cognitivas superiores. Este proceso de transferencia consume recursos atencionales que sólo pueden estar dedicados a una tarea, por lo que el T2 no puede ser reportado cuando se lo presenta en un intervalo entre 200 y 500 ms. Sin embargo, de forma muy interesante, se observa que si no hay una máscara entre T1 y T2, ambos son reportados. Este fenómeno llamado *lag 1 sparring* es comúnmente explicado dentro del mismo esquema argumentando que ambos *targets* entrarían en el mismo evento atencional, que se cierra con la presentación de la máscara.

1.2.10 De dos a N tareas...

Los fenómenos de PRP y AB han sido explicados en términos de modelos de resolución de tareas dobles donde recursos cognitivos limitados son utilizados secuencialmente en un esquema primero-entrada primero-servido (*first-come first-serve, FIFO*) (Chun y Potter, 1995; Pashler, 1994; Sigman y Dehaene, 2005; Zylberberg, *et al.*, 2009; Zylberberg, *et al.*, 2010). Sin embargo, en una tarea que requiere encadenar dos operaciones aritméticas, la segunda operación comienza antes de que sea completada la primera (Sackur y Dehaene, 2009). Estos descubrimientos cuestionan la validez de la extrapolación directa de los modelos de dos tareas simples e independientes a la cognición en tareas con múltiples pasos, como en aritmética o en la resolución de problemas (*problem solving*).

Estudios recientes en monos (Yang y Shadlen, 2007) y humanos (de Lange, *et al.*, 2010) comenzaron a explorar la fisiología de estas tareas secuenciales. Yang y Shadlen (2007) mostraron que los monos eran capaces de resolver una tarea donde una secuencia de (cuatro) estímulos es presentada y cada uno de ellos trae asignada una probabilidad de que la respuesta correcta sea a la derecha o a la izquierda. En esta tarea, neuronas en *lateral intra parietal cortex* (LIP) mostraron respuestas

consistentes combinando la información de los distintos estímulos en el tiempo y, potencialmente, calculando el *Log-Likelihood Ratio* en favor de una respuesta o la otra. De forma similar a como lo hacen con decisiones sobre un único estímulo. En humanos, de Lange y colaboradores (2010) presentaron una tarea en donde el sujeto debía responder la dirección resultante de (cinco) flechas apuntando a la derecha o a la izquierda mientras registraban la actividad cerebral con magnetoencefalografía (MEG). Los estímulos eran presentados relativamente rápido (100 ms y 200 ms de tiempo entre estímulos) y los sujetos no llegaban a resolver la tarea perfecto, como ocurre a tiempos más lentos. Si bien se encontraron respuestas en electrodos centrales y parietales consistentes con la acumulación de información, los resultados mostraron dos violaciones a un modelo aditivo puro: 1) La nueva información es pesada diferencialmente dependiendo de valor acumulado, y 2) La información conflictiva puede afectar el proceso de decisión inclusive después de haber cruzado el umbral de decisión. Estos resultados también se alejan del modelo de dos tareas general, sin embargo resultan compatibles nuevamente a la luz de los resultados de Ferlazzo (Ferlazzo, Fagioli, *et al.*, 2007; Ferlazzo, Lucido, *et al.*, 2007), que muestra que la interferencia como está reportada en el Pestaño Atencional clásico depende de la resolución de un objetivo (o una tarea) y no del procesamiento de un estímulo, al los eventos que interactúan. De esta forma las tareas secuenciales poseen único objetivo final y la información dentro de ese evento podría ser combinada siguiendo otras reglas.

Otros estudios también en monos (Fujii y Graybiel, 2005; Jin, *et al.*, 2009) y humanos (Jubault, *et al.*, 2007; Koechlin, *et al.*, 2003; Koechlin y Summerfield, 2007) investigan las bases neuronales de la organización de estas tareas secuenciales y de procesos ejecutivos asociados. En los primeros (Fujii y Graybiel, 2005; Jin, *et al.*, 2009), registrando simultáneamente en poblaciones de neuronas en corteza prefrontal y ganglios de la base, muestran que estas áreas siguen distintas fases de la realización de una secuencia de sacadas. Los registros muestran que más allá de que respuestas en el estriado, corteza prefrontal y *supplemental eye field* responden a etapas distintas de la realización de cada paso (sacada), existen modulaciones ante el avance de la secuencia y respuestas globales que marcan la finalización de la secuencia. En humanos (Jubault, *et al.*, 2007; Koechlin, *et al.*, 2003; Koechlin y Summerfield, 2007), utilizando resonancia magnética funcional (fMRI) en tareas en las que hay que seguir secuencias de estímulos en distintas condiciones, se observan activaciones en corteza prefrontal (Koechlin, *et al.*, 2003) y parietal (Jubault, *et al.*, 2007) asociadas con la planificación y ejecución de secuencias motoras. Un modelo que resume estos resultados se presenta en Koechlin y Summerfield (2007).

En la sección de resultados 4.4 estudiaremos cómo operaciones aritméticas sucesivas son encadenadas en una tarea secuencial de varios pasos, donde la misma operación o rutina debe ser repetida sobre una secuencia de estímulos. En esta tarea exploraremos la contribución de cada operación al resultado final, y la dependencia de dichas contribuciones variando los parámetros de la tarea desde una situación de cálculo simbólico preciso, característico del pensamiento consciente, hasta presentaciones muy rápidas o con estímulos ruidosos, en el límite de la capacidad del pensamiento consciente.

1.2.11 Esclerosis Múltiple

La Esclerosis Múltiple (EM) es un enfermedad inflamatoria desmielinizante del sistema nervioso humano, y es común encontrar entre los síntomas un deterioro cognitivo, aunque en etapas tardías sean sobrepasados por los síntomas motores (Rao, *et al.*, 1991; Reuter, *et al.*, 2007; Reuter, *et al.*, 2009; Trapp y Nave, 2008). En

una etapa temprana de la enfermedad, la disfunción cognitiva está generalmente asociada a procesos integrativos como la memoria de trabajo, atención, funciones ejecutivas, y cambios en la velocidad de procesamiento de la información (Rao, *et al.*, 1991; Reuter, *et al.*, 2007; Reuter, *et al.*, 2009; Trapp y Nave, 2008). Una hipótesis detrás de estas disfunciones, basándose en la teoría del *global workspace* (Dehaene, *et al.*, 1998; Dehaene, Sergent, *et al.*, 2003; Reuter, *et al.*, 2007) es que, como son justamente las conexiones de largo alcance entre cortezas las primeras afectadas por la enfermedad (Bonnet, *et al.*, 2010; Reuter, *et al.*, 2007; Reuter, *et al.*, 2009; Staffen, *et al.*, 2002), las tareas que requieren de esa red global reclutando procesadores independientes en distintas cortezas, son las que primero sufren los síntomas.

La realización de estudios de neuropsicología detallados, como los que se describieron anteriormente, son capaces de aislar procesos específicos dentro de la resolución de una tarea, los cuales a su vez están asociados a áreas específicas o a vías específicas en el cerebro (Posner, 2005). En patología, alguna de ellas puede estar afectada y sin embargo redundar en múltiples efectos (Bonnet, *et al.*, 2010; Staffen, *et al.*, 2002), por lo que la utilización y actualización de estudios neuropsicológicos a la luz de los nuevos conocimientos puede ser muy importante. Existen varios casos en donde estudios aplicando conocimientos simples desarrollados en el laboratorio permiten identificar las funciones afectadas en los pacientes (Bekinschtein, *et al.*, 2009; Temel, *et al.*, 2008, 2009); por otro lado el trabajo en pacientes es un aporte constante de información para la ciencia básica, sobre posibles áreas cerebrales involucradas en distintos procesos (Del Cul, *et al.*, 2006; Rorden y Karnath, 2004).

En la sección 4.3 aplicaremos las ideas presentadas hasta aquí, en un estudio de PRP en pacientes con Esclerosis Múltiple.

1.3 *Mirando al mundo a los saltos*

1.3.1 El ojo y sus caminatas

Somos seres visuales, sin embargo sabemos poco de lo que hacen nuestros ojos cuando no los miramos. Nuestros ojos están en constante movimiento, y su movimiento es una fuente de información muy importante de la construcción de nuestro entorno que hace nuestro cerebro. Su diseño y dinámica imponen las primeras restricciones a lo que somos capaces de percibir y cómo lo hacemos.

El ojo ...

La luz pasa a través de la cornea y los lentes al frente de nuestros ojos y se proyecta en la retina, donde cada fotón es absorbido por uno de millones de fotorreceptores. A través de ellos esta información es convertida en una señal eléctrica que a su vez se propaga a través de varias capas de células, donde una gran variedad de tipos de neuronas procesan la información que finalmente converge en un único canal de salida, el nervio óptico, compuesto por un millón y medio de axones de las células ganglionares. Este canal transmite un equivalente a 10^6 bits/segundo (Koch, *et al.*, 2006) que luego serán decodificados en distintas estaciones a lo largo de las vías visuales.

Antes de meterse en estas vías visuales ya se encuentra la primera limitación: Nuestros ojos apuntan al frente. Este hecho, que no comparten todos los animales, posibilita la visión en profundidad al mismo tiempo que reduce el ángulo de visión.

Esto redundaba en que nuestros ojos se muevan coordinados en la mayoría de los casos, generalmente en la misma dirección pero otras en direcciones opuestas –como en los movimientos de convergencia (*vergence*)–.

A su vez, la distribución de receptores en la retina no es uniforme. En primer lugar, existen dos tipos de fotorreceptores: Los bastones y los conos. Los primeros operan mejor con luz tenue (y saturan su respuesta con iluminación del día), y los segundos funcionan mejor a la luz del día y tienen respuestas más rápidas que los bastones. La distribución de estos dos tipos de fotorreceptores es muy diferente (opuesta), mientras que los conos están concentrados en la región central de la retina llamada fovea, y decrecen en función de la distancia a ese punto hasta desaparecer más allá de los 12° de ángulo visual. Los bastones (20 veces más numerosos que los conos) están dispersos fuera de la fovea. A su vez, en la fovea también hay una mayor densidad de células ganglionares, esto deja a la retina con un único punto de sólo 1° de ángulo visual (nuestro pulgar mide 1.5° y 2° con nuestro brazo estirado) pero de muy alta resolución, a expensas de todo el resto del campo visual. Y aunque no somos conscientes de este hecho, pueden hacerse varios experimentos caseros de forma de poner en evidencia que en cada instante sólo “vemos” una porción muy pequeña del espacio y nuestra sensación de un entorno continuo y extenso es sólo una ilusión⁴. Una serie de experimentos evaluaron directamente esta idea en lectura, en ellos se utiliza la posición del ojo para modificar la imagen presentada, eliminando o alterando la información proveniente de la periferia –reemplazando todas las letras por letras al azar o por Xs– (McConkie y Rayner, 1973; Rayner y Bertera, 1979). En ellos se mostró que la ventana perceptual se extendía asimétricamente sobre el eje horizontal –3 o 4 caracteres a la izquierda y 14 o 15 caracteres a la derecha–. Otros experimentos de búsqueda visual también presentaron una ventana espacial ovalada sobre el eje horizontal (Najemnik y Geisler, 2005).

... y sus caminatas

Este diseño tan particular nos obliga a mover constantemente los ojos capturando los distintos detalles de la escena. Existen varios movimientos distintos controlados por 6 pequeños músculos en cada ojo. Los más comunes –y los que nos competen en esta tesis– son las *sacadas* y *fijaciones*. Además están el *seguimiento suave* (*smooth pursuit*), la *convergencia* (*vergence*) y la dilatación de la pupila –de los que no nos ocuparemos en esta tesis–.

Cuando observamos una imagen o leemos esta línea por ejemplo, nuestros ojos se mueven intercalando saltos muy rápidos (de unos 900%/seg), llamados *sacadas*, y detenciones en puntos estables, donde la posición del ojo fluctúa más

⁴ Dos experimentos caseros muestran claramente esta ilusión. El primero muestra las falencias: Se lo puede probar solo o con otra persona ayudando: Escribir una letra en un papel –puede ser más o menos grande–, fijar la mirada en algún punto en frente y llevar el papel con la letra desde la periferia hacia el foco de visión, siempre con el brazo extendido. Al principio no se va a distinguir la letra, aunque se entiende que hay una mano, un papel, etc, y en algún punto cerca de donde enfocamos la mirada empieza a distinguirse la letra. De hecho, de esta manera podríamos cuantificar el ángulo que cubre la zona de mayor resolución. El segundo punto pone en evidencia la ilusión, lo que hace nuestro cerebro para suplir las falencias: Marcar un punto en el piso con algún objeto, colocar otro objeto relativamente cerca y alejarse en la misma dirección unos dos metros. Este experimento requiere calibrar estas distancias que no son iguales para todos, pero si nos tapamos un ojo, fijamos la mirada en el primer objeto –de forma que se proyecta en la fovea– y caminamos hacia atrás, a cierta distancia el segundo va a caer en el punto ciego, donde no hay receptores, cuando eso ocurre nuestro cerebro lo pierde de vista pero sin aceptar sus falencias nos engaña y nos muestra lo que asume que debería haber ahí, que es más piso igual que a sus alrededores.

lentamente (generalmente en menos de 1° de amplitud) llamadas *fijaciones*. Los cambios abruptos del punto de mayor visión o el foco de la mirada⁵, suceden unas 3 veces por segundo, y están presentes no sólo en humanos y monos sino en prácticamente todos los animales en forma de movimientos de los ojos, de la cabeza o del cuerpo (Land, 1999).

Estos movimientos no son aleatorios, sino que desde los primeros trabajos de Buswell en lectura o Yarbus en imágenes (Buswell, 1937; Yarbus, 1967) se puede observar que no hay fijaciones en espacios vacíos de la imagen e inclusive que la distribución de estos puntos cambia de acuerdo a la tarea que se está realizando (Figura 1.3.1). La secuencia de fijaciones puede ser determinada: 1) en ausencia de conciencia –la mayor parte del tiempo si se tiene en cuenta que realizamos unas 200.000 al día–, realizando movimientos estereotipados de acuerdo a la tarea que se está realizando; 2) por la aparición de algún estímulo inesperado; y 3) en un porcentaje pequeño de las veces podemos tomar control de nuestros ojos para realizar una tarea en particular (por ejemplo la mayoría de los experimentos que se detallan en esta tesis, y que se realizan en investigación en general).

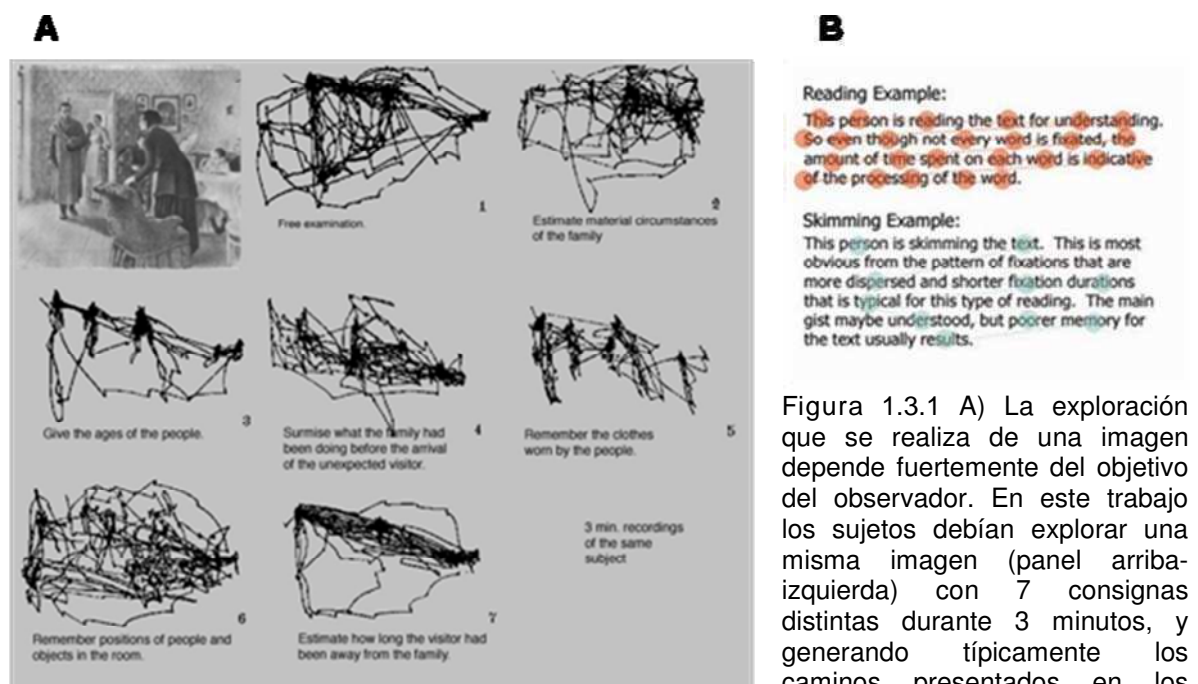


Figura 1.3.1 A) La exploración que se realiza de una imagen depende fuertemente del objetivo del observador. En este trabajo los sujetos debían explorar una misma imagen (panel arriba-izquierda) con 7 consignas distintas durante 3 minutos, y generando típicamente los caminos presentados en los paneles restantes de la figura (Yarbus, 1967). B) En lectura ocurre un fenómeno similar dependiendo si la instrucción es leer detenidamente o extraer alguna idea del texto (Rayner y Castelhana, 2007).

Durante las fijaciones adquirimos información principalmente de la región del espacio en la enfocamos nuestra vista pero también del entorno, que nos sirve tanto para componer la imagen como para planear el siguiente movimiento. Existen una gran variedad de modelos de cómo usamos esa información para dirigir el movimiento y sobre algunos de ellos volveremos más adelante.

⁵ A lo largo del texto llamaremos a este punto foco de la mirada o simplemente *mirada*, del inglés Gaze.

Entre fijación y fijación la imagen en nuestra retina cambia bruscamente. ¿Por qué entonces no notamos estos movimientos? ¿O los cambios en la retina? ¿Por qué nos mareamos viendo una grabación casera y no segundo a segundo con el movimiento de nuestros ojos? Dos mecanismos vinculan fuertemente la generación del movimiento de los ojos y la percepción, y dan cuenta de estos fenómenos: el *remapeo* (*remapping*) y la *supresión sacádica* (*saccadic suppression*)⁶.

Por último, entre la variedad de movimientos oculares cabe mencionar también a las microsacadas. Si bien muchas veces se las ubica como un grupo distinto de movimientos oculares, recientemente se mostró que siguen los mismos patrones que las sacadas (Harris y Wolpert, 2006; Otero-Millan, *et al.*, 2008), sólo que las microsacadas se separan de las sacadas con un umbral de amplitud de 1°. Esto sugiere que existe un mecanismo generador común de sacadas y microsacadas, junto a las regiones en el cerebro asociadas (Martinez-Conde, *et al.*, 2004; Martinez-Conde, *et al.*, 2006; Martinez-Conde, *et al.*, 2009; Otero-Millan, *et al.*, 2008). Más allá de la evidencia respecto a los mecanismos por los cuales se generan, se asume que cumplen roles distintos ya que en un caso cambia por completo la porción del espacio que cubre el centro de la fovea, mientras que en el otro son correcciones sin quitar esa porción del espacio de foco.

1.3.2 Supresión sacádica

Mientras realizamos una sacada gran parte de la información proveniente del exterior es suprimida (Burr, *et al.*, 1994; Guthrie, *et al.*, 1983; Melcher y Colby, 2008; Ross, *et al.*, 2001; Thiele, *et al.*, 2002; Volkmann, 1986). Por ejemplo, nuestro umbral de detección a un flash de luz presentado brevemente en el tiempo de una sacada, aumenta dos o tres veces. Sin embargo, la supresión no es total como puede comprobarse en un experimento casero, haciendo sacadas en dirección opuesta al movimiento de un tren para ver los durmientes. En los últimos años se mostró que la supresión sacádica afecta a sólo a una de las dos vías principales de salida de la retina –para el análisis visual temprano–, la magnocelular –asociada principalmente a la ubicación o al movimiento de los objetos–, mientras que la vía parvocelular no es afectada –asociada al contenido del estímulo– (Burr, *et al.*, 1994; Rolls y Deco, 2002) (ver 1.3.5). Es así que los resultados existentes sobre la presencia de supresión sacádica no son absolutos y dependen fuertemente de los estímulos y las tareas requeridas, por ejemplo del movimiento y de la frecuencia espacial (Ross, *et al.*, 2001).

1.3.3 Percepción entre sacadas

La información que llega a través de nuestro sistema visual es drásticamente discontinua, espacial y temporalmente. Muchos objetos que en una fijación estaban a la derecha saltan irremediabilmente a la izquierda en la siguiente fijación, y todo lo que estaba en el foco ya no está, por lo que mantener la ubicación de cada objeto no es tarea trivial. Por otro lado, las imágenes llegan cada 250 ms con blanco de como mínimo entre 10 y 70 ms –correspondiente a la duración de las sacadas– y puede llegar a ser aún más si se considera el tiempo que tarda en llegar la información al menos a las primeras estaciones de la vía visual (Kirchner, *et al.*, 2009; Roelfsema, *et al.*, 2007; Thorpe y Fabre-Thorpe, 2001). Para resolver este problema el sistema visual combina información de forma predictiva y consistente entre sacadas, extrayendo las porciones útiles para el objetivo global y descartando los detalles locales. Por ejemplo,

⁶ Un experimento casero para ver la supresión sacádica es intentar ver a sus propios ojos moverse frente a un espejo, por ejemplo mirando sucesivamente uno y otro ojo.

siguiendo a una persona sin prestar atención a la multitud⁷. A continuación resumiremos algunos de los principios asociados a la percepción entre sacadas (Burr, *et al.*, 2010; Melcher y Colby, 2008).

La arquitectura del sistema visual se basa en campos receptivos, que se asumen constantes respecto a la posición en el espacio como a determinadas características del estímulo, con neuronas que responden a posiciones y propiedades específicas, más complejas a medida que se avanza en la vía visual. Sin embargo esta arquitectura resulta sorprendentemente flexible, ya que muchas de las neuronas tienen acceso y hacen uso de información fuera del campo receptivo clásico, este hecho se hace más evidente cuando movemos los ojos (Colby y Goldberg, 1999; Duhamel, *et al.*, 1992; Merriam y Colby, 2005; Roelfsema, *et al.*, 2007; Schall y Thompson, 1999).

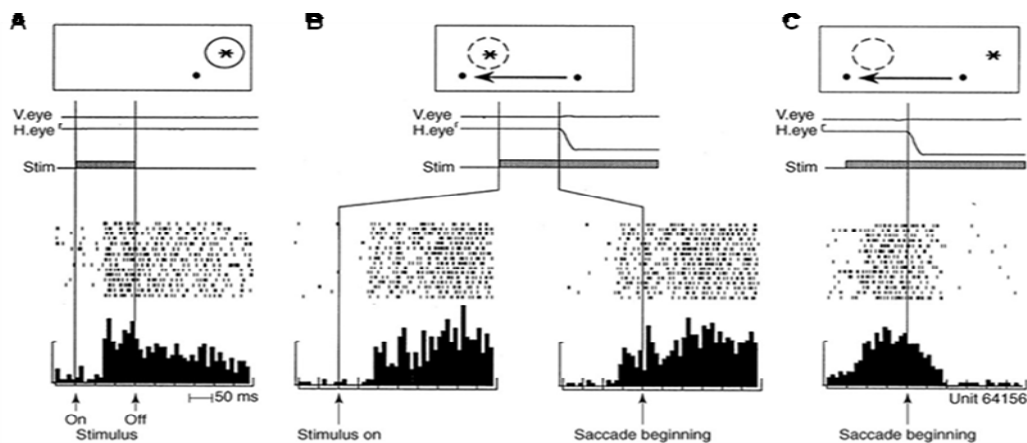


Figura 1.3.2 Remapeo de la actividad visual de una neurona en LIP. Paneles superiores: Diagramas con el punto de fijación (punto), el estímulo (asterisco), el campo receptivo (círculo) y la sacada (flecha). Paneles intermedios, líneas de tiempo del movimiento ocular y la presentación de los estímulos. Paneles inferiores: Patrón de disparo de una neurona en sucesivos ensayos e histograma de las respuestas. A) Estímulo presentado brevemente en el campo receptivo antes de comenzar la sacada, B) Estímulo presentado en el campo receptivo de la neurona cuando concluya la sacada, alineado al *onset* del estímulo y al de la sacada, y C) Igual que (A) pero el estímulo se mantiene luego de la sacada, y puede verse como es suprimida la información que ahora está fuera del campo receptivo (Duhamel, *et al.*, 1992).

Dos aspectos de estos campos receptivos dinámicos son relevantes para la percepción entre sacadas. En primer lugar está el *remapeo* de la traza de memoria de un estímulo saliente. Antes de que los ojos se muevan, una *copia eferente* (*corollary discharge*) del comando que dio lugar al movimiento hace que la representación del estímulo almacenada se transfiera del campo receptivo que lo codificaba al campo receptivo que ocupará su lugar cuando los ojos terminen su recorrido (Melcher y Colby, 2008; Merriam y Colby, 2005; Ross, *et al.*, 2001; Sommer y Wurtz, 2008a, 2008b). El remapeo fue observado primero en el área LIP, pero también en *Frontal Eye Field* (FEF), *Extrastriate Visual Cortex* y *Superior Colliculus*, que es una de las fuentes de la *copia eferente*. Por ejemplo, en registros en LIP en monos realizando una tarea de sacadas (Duhamel, *et al.*, 1992) (Figura 1.3.2) se puede observar que una neurona cambia su patrón de disparo y empieza a responder según la presencia o ausencia del estímulo en la zona correspondiente al campo receptivo en el lugar de

⁷ Un experimento muy conocido puede bajarse de http://viscog.beckman.illinois.edu/djs_lab/demos.html o de http://www.youtube.com/results?search_query=inattentional+blindness. En el cual hay que contar los pases que realiza cada equipo (y no cuento el final de la historia). El fenómeno que ilustra este experimento se llama *ceguera atencional* (*inattentional blindness*) (Simmons, 2007).

llegada - luego de la sacada -. Trabajos recientes muestran que además hay neuronas que responden a ambos campos receptivos, el presente y el futuro.

Este remapeo predictivo tiene efectos importantes en la percepción al borde de las sacadas o entre sacadas (Burr, *et al.*, 2010; Melcher y Colby, 2008; Ross, *et al.*, 2001). Por ejemplo, se mostró que varios *aftereffects* son transferidos entre posiciones relativas antes y después de la sacada (Melcher, 2008, 2009), así como también se puede generar enmascaramiento entre estímulos presentados en la misma posición relativa pero en dos fijaciones distintas (De Pisapia, *et al.*, 2010). El remapeo también genera alteraciones en la percepción tales como compresión del tiempo y el espacio (Morrone, *et al.*, 2005; Ross, *et al.*, 1997; Ross, *et al.*, 2001), en experimentos en los que se pide reportar longitudes, o la separación en el espacio, o en el tiempo de objetos presentados decenas de milisegundos antes del comienzo de la sacada (Figura 1.3.3AB). En el último de los casos se observan también reportes del orden de presentación de los estímulos invertidos (Morrone, *et al.*, 2005). También se observaron contracciones en la estimación de cantidades (Binda, *et al.*, 2011)(Figura 1.3.3C), muy asociadas con la estimación de distancias espaciales (Burr, *et al.*, 2010).

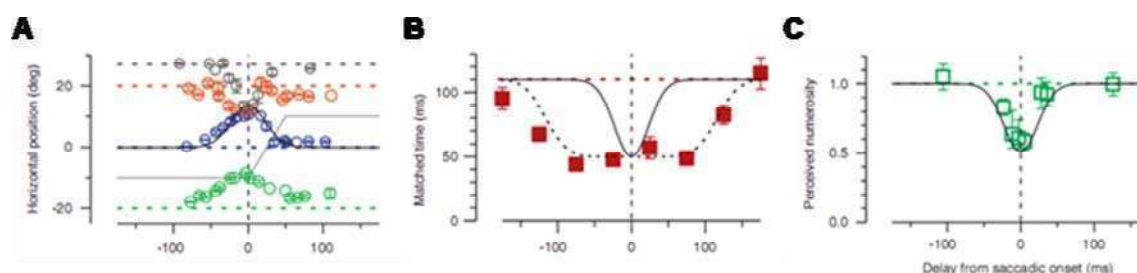


Figura 1.3.3 A) Percepción espacial relativa de la posición horizontal (círculos) de un estímulo presentado en cuatro posiciones distintas (líneas punteadas) por un tiempo breve, en latencias cercanas al *onset* de la sacada. B) Tiempo relativo estimado entre dos estímulos presentados con un intervalo de 100 ms, en latencias cercanas al *onset* de la sacada. C) Cantidad relativa estimada de un conjunto de 30 puntos presentados en latencias cercanas al *onset* de la sacada (Burr, *et al.*, 2010).

El otro hecho importante de la percepción entre sacadas es que ocurre sólo para los estímulos salientes en la imagen –eso incluye las transformaciones entre fijaciones, los *aftereffects*⁸, y el enmascaramiento, entre otros– (Binda, *et al.*, 2011; Burr, *et al.*, 2010; De Pisapia, *et al.*, 2010; Dore-Mazars, *et al.*, 2004; Melcher, 2008, 2009; Melcher y Colby, 2008; Miniussi, *et al.*, 1999). El resto se mantienen constantes, los que están en la periferia o no son atendidos no tienen necesidad de ser remapeados. Este es además un principio general del sistema visual, donde se maneja un conjunto pequeño de objetos –3, 4, o menos– en el foco de atención y del resto se tiene sólo un destello ("*gist*") que no está asociado a una ubicación ni a un tiempo preciso, por lo que no es "necesario" remapearlo. Además es consistente con que las áreas visuales intermedias (V3, V3a, LIP) sufren el *remapeo* más que las áreas visuales tempranas (V1, V2) tanto en humanos como en monos.

El remapeo perceptual comienza entre 100 y 50 ms antes del inicio de la sacada y establece una restricción sobre el tiempo en que debe terminar el

⁸ Los *aftereffects* dan cuenta de las fallas en percepción de un estímulo, debido a una presentación de otro estímulo anterior; o dicho de otra manera, propiedades de un estímulo que se transfieren al estímulo siguiente generalmente como cambios del marco de referencia. Por ejemplo, el *aftereffect* de movimiento (o *ilusión de la cascada*) aparece cuando miramos unas barras verticales moverse horizontalmente, y luego nos presentan un estímulo quieto, al que vemos moverse en dirección opuesta.

procesamiento de la información en la fijación presente y comenzar el de la fijación siguiente. Así como también marca el momento en que debe terminar la planificación motora, ya que para que el *remapeo* sea posible es necesario saber a dónde se mueven los ojos. Es importante tener en cuenta que en estos experimentos los sujetos no mueven los ojos libremente, sino que en general los ojos están fijos en un punto y el sujeto debe moverlos a una posición predefinida luego de la aparición de una clave. A su vez, la latencia entre la clave y el movimiento suele ser de 200 ms, pero probablemente la preparación del movimiento comienza antes. Cuáles son los tiempos en visión libre o en una secuencia de sacadas es todavía una pregunta abierta.

1.3.4 Generación de sacadas

Cuando se consideran los mecanismos de generación de sacadas se deben tener en cuenta dos aspectos: El *dónde* –i.e. la posición de la siguiente fijación - y el *cuándo* - i.e. la duración de la presente fijación–. Un modelo general de generación de sacadas es el de Findlay y Walker (1999), que se basa en la hipótesis de que existen dos vías separadas para la programación de la sacada, una espacial y otra temporal (Findlay y Walker, 1999) (Figura 1.3.4). Sin embargo, cuando estas etapas se completan serialmente (*EZ Reader*) (Reichle, *et al.*, 2003) o en paralelo (SWIFT, CRISP) (Engbert, *et al.*, 2005; Nuthmann, *et al.*, 2010) con el procesamiento de la imagen visual es terreno de debate – por ejemplo en lectura con el procesamiento léxico de la palabra –. Por lo pronto, la mayoría de los modelos de búsqueda visual se ocupan sólo del *dónde*, y son los modelos de lectura los más avanzados en combinar ambas vías.

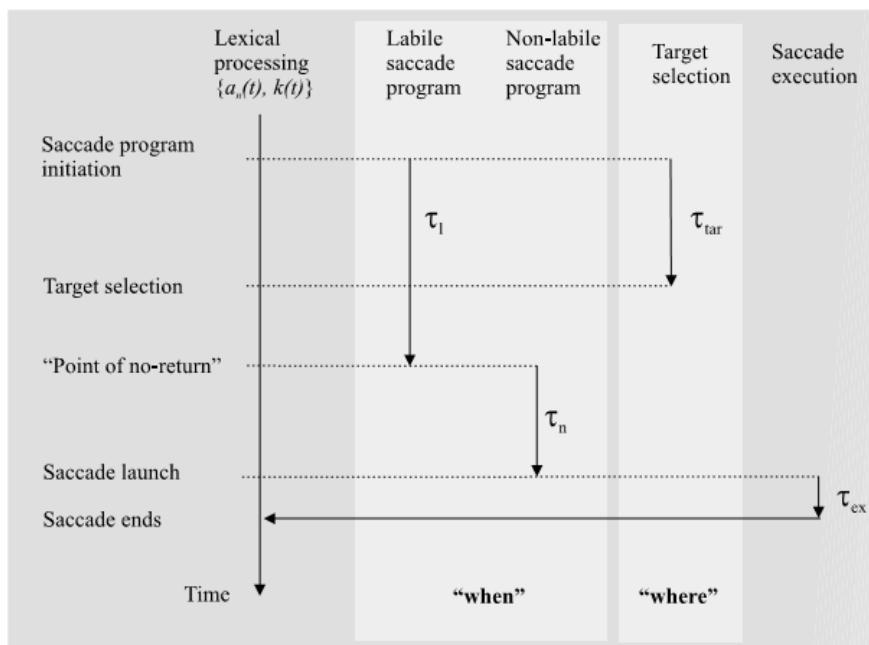


Figura 1.3.4 Modelo de movimientos oculares en lectura (SWIFT) basado en el modelo de generación de sacadas de Findlay y Walker (1999) (Engbert, *et al.*, 2002)

En cuanto al aspecto temporal, cuando miramos una imagen generamos una secuencia de fijaciones con una variabilidad considerable en su duración (Castelhamo y Henderson, 2008; Otero-Millan, *et al.*, 2008; Rayner, 2009). En lectura, esta variabilidad proviene de una serie de parámetros estudiados en profundidad (Engbert, *et al.*, 2005; Nuthmann, *et al.*, 2010; Reichle, *et al.*, 2003). En la bibliografía de percepción de imágenes los factores que influyen en la duración de las sacadas son menos claros. Una primera variable que afecta la duración general de las fijaciones es

la tarea, por ejemplo en tareas de memorización las fijaciones son más largas que en tareas de búsqueda visual. También la consistencia de los objetos con el resto de la imagen afecta la duración de las fijaciones, cuanto más raro - i.e. más informativo - mayor es la duración. Por último, otros aspectos locales también modifican la duración de las fijaciones, como la degradación de la imagen –aplicando un filtro pasa bajos a la imagen o reduciendo la luminancia–.

Una serie de paradigmas –*stimulus onset delay* y *scene onset delay*– apuntan a responder cuándo la duración de las fijaciones, y por lo tanto la programación del tiempo de la siguiente sacada, está influenciada por factores externos o internos. Mientras se está leyendo un texto, mirando una imagen o buscando un objeto, la imagen es removida de la vista, y con un retraso variable reaparece. Si las fijaciones están gobernadas por el estímulo entonces la duración debe depender sistemáticamente del retraso. Sin embargo los resultados mostraron dos poblaciones de fijaciones: Una que seguía ese patrón y otra que comenzaba y terminaba independientemente del retraso (Henderson, *et al.*, 2009; Morrison, 1984). Estos resultados sugieren que existen dos vías para determinar el momento de la siguiente sacada. Consistentemente con esta idea otros estudios muestran que existen mecanismos autónomos o rítmicos de generación de sacadas (Engbert y Kliegl, 2001; McAuley, *et al.*, 1999).

Por último, experimentos comportamentales en humanos (Findlay y Walker, 1999) y registros en monos muestran que existe una etapa donde, si bien se está estableciendo el momento de la siguiente sacada, esta información es lábil y puede ser cancelada (Schall, 2004; Schall y Thompson, 1999). Por ejemplo, neuronas relacionadas al movimiento en FEF y el *colículo superior* muestran un incremento de la actividad hacia un umbral –reflejando la preparación motora– a partir del cual se ejecuta el movimiento, pero cuando un movimiento es cancelado este crecimiento también se detiene y la actividad vuelve rápidamente a la línea de base (Hanes, *et al.*, 1998; Pare y Hanes, 2003). Esta noción de dos etapas de planificación, una lábil y otra no lábil es incorporada en modelos de lectura y búsqueda visual (Engbert, *et al.*, 2005; Nuthmann, *et al.*, 2010; Reichle, *et al.*, 2003), y es relevante en la sección 4.5 donde se discuten los procesos a lo largo de una fijación.

1.3.5 Rutinas visuales y procesamiento de la información visual

Vías visuales ventral y dorsal

Esquemáticamente existen dos grandes vías que codifican la entrada de la información visual, la *vía ventral* –asociada al “*qué*”, al contenido– y la *vía dorsal* –asociada al “*dónde*”, a la ubicación de los objetos– (Rolls y Deco, 2002).

La *vía ventral* comienza en la corteza visual primaria (V1) y proyecta primero a la corteza visual secundaria (V2), luego pasando por V4 a la corteza ínfero-temporal posterior (post IT) y finalmente a la corteza ínfero-temporal anterior (IT). A lo largo de esta vía la información es mayormente unimodal, a medida que se avanza va convergiendo al contenido de lo que se está observando, independientemente de su posición, ángulo o tamaño, ganando un alto grado de invarianza (Rolls y Deco, 2002). Al final de esta vía la información se integra con otras modalidades sensoriales, en particular en la amígdala y corteza orbitofrontal. Estas áreas están relacionadas con aprendizajes asociativos y responden también al valor de los estímulos, en particular neuronas en esas áreas pueden responder a una asociación determinada entre información proveniente de distintas modalidades sensoriales.

La *vía dorsal* también comienza en V1 y proyecta sobre el área temporal medial –MT–, el área temporal medial superior –MST– y la corteza parietal. La información en esta vía codifica dónde se encuentran los objetos respecto al animal, es decir en coordenadas *egocéntricas*, incluyendo la dirección, la distancia y el movimiento de los estímulos (Colby y Goldberg, 1999; Rolls y Deco, 2002). La salida principal de esta vía son áreas motoras, principalmente el sistema de control del movimiento de los ojos –tanto el seguimiento suave como las sacadas– a través del FEF. A partir de allí, vía el *estriado* y *substancia nigra*, llegan al *colículo superior* de donde surge la información que da lugar al remapeo –la *copia eferente* del movimiento– (ver 1.3.3) (Merriam y Colby, 2005; Sommer y Wurtz, 2008a, 2008b).

Ambas vías convergen finalmente en otras áreas asociadas a funciones cognitivas superiores, principalmente el hipocampo. Allí se fusionan las representaciones contienen información del qué y del dónde, también en relación a otras modalidades sensoriales.

A pesar de que esta es la división principal, la estructura de estas vías no es estrictamente jerárquica, principalmente en la vía dorsal. Es muy importante notar que la mayoría de estas conexiones son recíprocas, pudiendo transferir información desde áreas sensoriales primarias hasta estadios superiores –*feed-forward*– o modulando desde áreas superiores la actividad de las cortezas primarias –*modulación top-down*–.

Procesamiento de información visual I: Categorización perceptual

Neuronas en IT mostraron ser altamente selectivas a objetos particulares dentro de una categoría –como caras, animales, etc–, e invariantes ante una gran variedad de transformaciones en el espacio (Kiani, *et al.*, 2007; Rolls y Deco, 2002; Thorpe y Fabre-Thorpe, 2001). Sin embargo no se encontraron neuronas que respondan a todos los elementos de una categoría en IT. En cambio en *corteza prefrontal* (PFC), que recibe la información visual de IT, se encontraron neuronas que responden dicotómicamente ante categorías impuestas por la tarea, por ejemplo ante partes de perros o gatos estas neuronas responden de una forma “todo o nada”, independientemente de cuán morfológicamente parecida sea la imagen a la otra categoría. De forma muy interesante estos patrones pueden cambiar si los estímulos deben ser categorizados de otra manera (Freedman, *et al.*, 2001). Es decir que, mientras IT responde robustamente ante un objeto particular, inclusive en situaciones de búsqueda visual en ambientes complejos, no es sensible a la tarea (Sheinberg y Logothetis, 2001), sino que sirve de entrada para que en PFC se tome la decisión (Freedman, *et al.*, 2001; Thorpe y Fabre-Thorpe, 2001) (Figura 1.3.5).

Sorprendentemente, las respuestas en IT comienzan cerca de los 100 ms, y en PFC apenas un poco después. Dado el número de etapas intermedias que debe atravesar la información hasta este estadio (V1 V2 V4 posterior IT IT), esta velocidad sugiere un procesamiento *feedforward* de estos estímulos visuales. Otra evidencia del procesamiento *feedforward* proviene de estudios con presentaciones sucesivas muy rápidas (14 ms) donde las neuronas en IT también son capaces de seguir las presentaciones y disparar cada vez que el estímulo preferido es presentado (Keyesers, *et al.*, 2001). Este esquema *feedforward* puede funcionar muy rápido, aunque no todo el procesamiento es concluido en esos tiempos, la expresión facial o la identidad tardan cientos de milisegundos más. Es interesante que a pesar de esto, dependiendo de la tarea, se pueden realizar respuestas rápidas –100 ms– sin que todo el procesamiento haya terminado (Kirchner y Thorpe, 2006). Las respuestas en monos son siempre más rápidas que en humanos, sin embargo, registros de EEG en humanos también muestran respuestas sensibles a la categoría a los 150 ms

(Johnson y Olshausen, 2003, 2005; Rousselet, *et al.*, 2002; Thorpe, *et al.*, 1996; Thorpe y Fabre-Thorpe, 2001; VanRullen y Thorpe, 2001) (Figura 1.3.6).

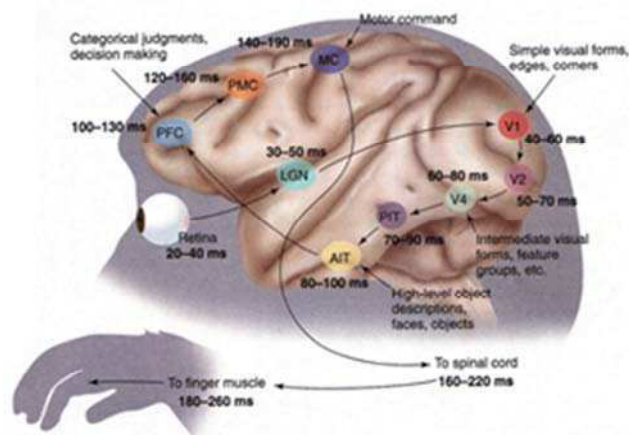


Figura 1.3.5 Flujo de información por la vía visual ventral, asociada a la detección, categorización e identificación de los objetos, es decir el contenido o el “qué” de la imagen. En esta figura se detallan además las latencias en monos siguiendo un esquema *feedforward* (Thorpe y Fabre-Thorpe, 2001)

Procesamiento de información visual II: Rápido y ultra-rápido ¿cuán rápido el cerebro puede desenfundar una respuesta?

A pesar de la hipótesis inicial de procesamiento *feedforward* para las distinciones tempranas de categorías, nuevos resultados muestran que puede existir una facilitación *top-down* de estas respuestas. Por ejemplo, un estudio con MEG y fMRI (Bar, *et al.*, 2006) muestra que existe información de la categoría en corteza orbitofrontal (OF) 50 ms antes que en IT. Registros de potenciales de campo intracraneales en humanos muestran que las primeras respuestas a estímulos visuales en FEF –cerca del final de la vía dorsal– se encuentran a los 45 – 60 ms (Kirchner, *et al.*, 2009); estos tiempos dejan espacio para que áreas de la corteza frontal puedan influir sobre áreas posteriores (occipito-temporales o parietales).

Registros de potenciales de campo intracraneales también en humanos muestran respuestas sensibles a la categoría en la vía visual ventral desde los 100 ms luego de la aparición de un estímulo (Liu, *et al.*, 2009). Por otro lado, registros de neuronas únicas en estructuras del lóbulo temporal como el hipocampo han revelado neuronas que responden con un alto grado de invarianza ante individuos particulares (Gelbard-Sagiv, *et al.*, 2008; Ison y Quiroga, 2008; Quiroga, *et al.*, 2009; Quiroga, *et al.*, 2005). Sin embargo esas respuestas, raramente ocurren antes de los 300 ms –entre 200 y 500 ms– (Mormann, *et al.*, 2008).

En registros de EEG en humanos también se encontraron respuestas selectivas a categorías a una latencia de ~150 ms (Rousselet, *et al.*, 2002; Thorpe, *et al.*, 1996) de forma consistente con los estudios en registros intracraneales. Por otro lado, la información de la identidad del estímulo fue hallada en latencias relativamente tempranas –entre 150 y 300 ms– (Johnson y Olshausen, 2003, 2005; VanRullen y Thorpe, 2001) (Johnson y Olshausen, 2003, 2005; Rousselet, *et al.*, 2002; Thorpe, *et al.*, 1996; Thorpe y Fabre-Thorpe, 2001; VanRullen y Thorpe, 2001) (Figura 1.3.6). Sin embargo, estudios enfocados sobre el acceso a conciencia de un estímulo (Dehaene, *et al.*, 2001; Del Cul, *et al.*, 2007; Sergent, *et al.*, 2005) o la identificación de un *target* (Luo y Sajda, 2009; Polich, 2007) presentan tiempos no menores a los 270 ms para la primer señal, compatibles o aún mayores que la identificación del estímulo. El por qué

de estas latencias tan largas o el paradero de la información en los tiempos intermedios continúa siendo una incógnita.

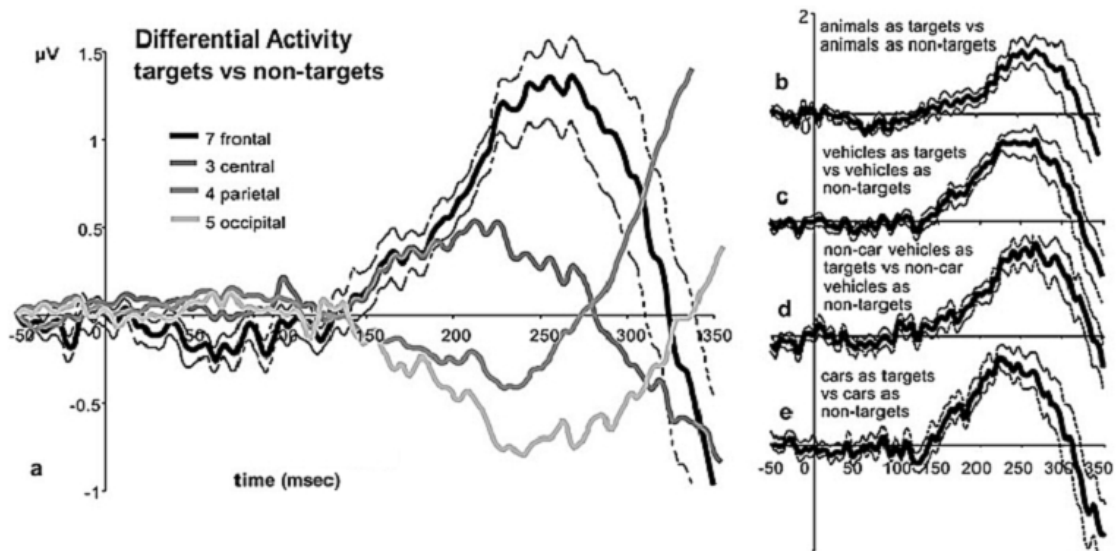


Figura 1.3.6 ERPs en una tarea de reconocimiento de imágenes naturales, donde los sujetos deben responder ante la presentación de una imagen si esta contiene un objeto (que puede ser animal o vehículo). En estos registros se encuentran diferencias significativas ante la categoría a partir de los 150 ms. En el panel de la izquierda se muestran todas las categorías agrupadas, y en los de la derecha se presentan los datos desagregados por categoría (VanRullen y Thorpe, 2001).

Un hecho interesante es que la mayoría de los trabajos que muestran respuestas rápidas en EEG están enfocados en la detección de objetos dentro de imágenes de escenas naturales (Johnson y Olshausen, 2003, 2005; Rousselet, *et al.*, 2002; Thorpe, *et al.*, 1996; VanRullen y Thorpe, 2001). Es posible que el sistema visual este adaptado para extraer esta información antes o de forma más robusta que estímulos abstractos. Otro resultado interesante en estudios relacionados, donde reportaron los primeros tiempos en que se obtienen respuestas comportamentales significativas, lo hacen con movimientos oculares y encuentran respuestas a categorías cercanas a los 150 ms (Crouzet, *et al.*, 2010; Kirchner y Thorpe, 2006). Es decir que en escenas naturales y con movimientos oculares la categorización e identificación de objetos parecería ser más rápida, en tiempos compatibles con las duraciones de las fijaciones naturales.

Procesamiento de información visual III: Rutinas visuales

Un enfoque similar al presentado a lo largo de la sección 1.2 puede adoptarse con las tareas embebidas en movimientos oculares. Un esquema teórico en ese sentido fue propuesto por Shimon Ullman en 1984, determinando un conjunto de operaciones visuales básicas, que se combinan en rutinas visuales. Este proyecto fue retomado recientemente por el grupo de Pieter Roelfsema buscando la implementación neuronal de dichas rutinas (Roelfsema, 2005; Roelfsema, *et al.*, 2000; Ullman, 1984). En una primera etapa, avanza una ola de información *feedforward* en la que se genera la *representación base* en todos los estadios de la vía visual (antes de los 100 ms), luego una serie de operaciones visuales – búsqueda visual, marcado, trazado de curvas, rellenado de superficies, asociación, memoria de trabajo, supresión, entre otros – actúan sobre esta representación base de distintas maneras (Roelfsema, 2005) y pueden combinarse en rutinas visuales. Dos ejemplos fueron muy explorados por el

grupo de Roelfsema: *Trazado de curvas*, en tareas donde los monos deben buscar un target y luego seguir una curva (dos operaciones) (Moro, *et al.*, 2010; Roelfsema, *et al.*, 2003), y la *Segregación de figura fondo*, donde los monos deben separar una superficie –determinada por el movimiento de unos puntos por ejemplo– y luego buscar un target incluido en la superficie (Roelfsema, *et al.*, 2007). Los registros de neuronas en V1 muestran que estas siguen cada paso del proceso cuando este involucra su campo receptivo –sea que incluyen al target, que pertenecen a la curva a trazar o la figura que se separa del fondo–, pero no cuando no es relevante a la tarea –cuando pertenece a una curva que no hay que seguir o simplemente al fondo–. La modulación en la actividad de estas neuronas es secuencial, de acuerdo a como se van completando las distintas etapas, y de forma muy interesante estos patrones cambian consistentemente si una de las etapas es suprimida, por ejemplo si no hay que buscar al target para seguir la curva (Roelfsema, *et al.*, 2003) (Figura 1.3.7), o si el orden es intercambiado, por ejemplo si deben “buscar y luego trazar” o “trazar y luego buscar” (Moro, *et al.*, 2010).

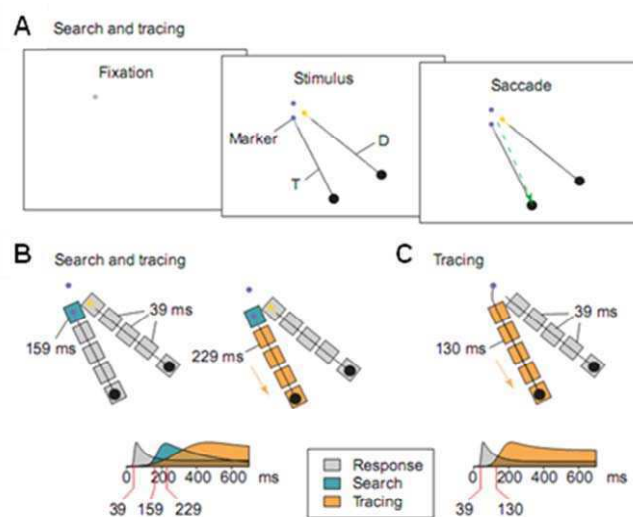


Figura 1.3.7 A) Diseño de la tarea: Una vez que aparecen los estímulos, el mono debe identificar el *target* seguir la curva asociada al *target* y realizar una sacada al final de la misma. B) En registros en neuronas de V1 con campos receptivos distribuidos a lo largo de la curva (ver paneles superiores) se pueden distinguir tres etapas de procesamiento: La respuesta inicial (asociada a la *representación base*), la operación de *búsqueda*, y la de *trazado*. C) Si se remueve una operación de la tarea, es decir que hay que trazar la curva sin primero buscar el *target*, la respuesta asociada a esa operación no está presente y en cambio la respuesta asociada a la operación de trazado se adelanta rígidamente (Roelfsema, 2005; Roelfsema, *et al.*, 2003).

Estos resultados sugieren que: 1) Existe una ola de activación *feedforward* restringida a los primeros 100 ms para toda la vía visual, y que en V1 son 40 ms; 2) Las áreas visuales tempranas actúan como pizarra para las operaciones visuales, permitiendo el intercambio de información entre las sucesivas etapas de una rutina visual, reflejando no sólo su carácter secuencial, sino la modulación por atención de cada uno de los elementos de la escena visual; 3) Parte de la modulación de la información en áreas tempranas comienza antes de la finalización de la ola *feedforward*, es decir que mientras la información progresa por la vía visual, algunas operaciones –que implican conexiones de áreas más avanzadas sobre la corteza visual primaria– ya están llevándose a cabo (Figura 1.3.7).

1.3.6 Caminatas sobre distintos escenarios. Las caminatas no son al azar.

A partir de los primeros trabajos en lectura o en imágenes naturales que mostraron una relación entre la tarea y los movimientos oculares (Buswell, 1937; Yarbus, 1967) (Figura 1.3.1), se profundizó mucho en este tipo de tareas, y sumando la búsqueda visual, son la punta de lanza en la investigación en movimientos oculares como reflejo del procesamiento de información. Estas tareas tienen en común que: 1) Pertenecen a la vida cotidiana, abriendo la posibilidad de estudiar un comportamiento natural para los humanos; 2) Se basan en presentaciones estáticas, lo cual facilita enormemente el análisis, donde toda la variabilidad en la secuencia de fijaciones (es decir imágenes en la retina y tiempos) está puesta por el sujeto y es el objeto de estudio; y 3) En lectura y en búsqueda visual fundamentalmente la tarea es clara y existe un conjunto de estrategias acotado para resolverla, de modo que resulta transparente asignar un significado a cada evento. Además se pueden controlar prácticamente todas las propiedades del estímulo presentado porque se conocen las reglas con las cuales construirlo (palabras, oraciones, conjuntos de targets y distractores). En cambio, sobre las tareas relacionadas a imágenes naturales es necesario un esfuerzo distinto –extra– a la lectura o la búsqueda visual, ya que no sólo es necesario entender cómo nuestros ojos las recorren, sino cuáles son las reglas subyacentes y los puntos más informativos de las imágenes naturales. Ha habido mucho avance detrás de ambas preguntas en los últimos años (Dragoi y Sur, 2006; Gutnisky y Dragoi, 2008; Reinagel y Zador, 1999; Sigman, *et al.*, 2001). Por último, las tareas de búsqueda visual, tienen la bondad de poder ser llevadas desde un extremo controlado similar a la lectura, donde inclusive pueden valer los mismos modelos (Trukenbrod y Engbert, 2007), a la búsqueda dentro de imágenes naturales.

Lectura

En la última década se han postulado y perfeccionado modelos computacionales sofisticados que permiten predecir el movimiento del ojo en un texto a partir de propiedades del mismo texto, siendo los dos más avanzados son el EZ-Reader (Reichle, *et al.*, 1998; Reichle, *et al.*, 2003) y el SWIFT (Engbert, *et al.*, 2002; Engbert, *et al.*, 2005) (Figura 1.3.4).

Estos modelos cognitivos detallados usan el hecho de que el texto es un escenario altamente regular y con propiedades conocidas para predecir la probabilidad de distintos tipos de movimientos oculares durante la lectura, describiendo la secuencia de puntos de fijación y la duración de las fijaciones con gran detalle. Algunas medidas predichas son: El tiempo total de lectura, la duración de cada fijación (y en el caso de más de una fijación en la misma palabra, el tiempo de cada fijación dentro de una palabra), la probabilidad de saltar una palabra, la probabilidad de fijar más de una vez en la misma palabra, y la probabilidad de volver a una palabra que ya fue vista, la posición de la fijación dentro de la palabra, la duración de la fijación anterior a saltarse una palabra, la duración de la fijación en función de las palabras previas o siguientes, entre otros (Engbert, *et al.*, 2002; Engbert, *et al.*, 2005; Reichle, *et al.*, 1998; Reichle, *et al.*, 2003).

Ambos modelos utilizan propiedades físicas, como el largo de la palabra, y del contenido del texto, como la frecuencia léxica, la predictibilidad, la cantidad de significados distintos, la familiaridad, la relación semántica entre la palabra presente y las anteriores, entre otros (Engbert, *et al.*, 2002; Engbert, *et al.*, 2005; Reichle, *et al.*, 1998; Reichle, *et al.*, 2003).

Si bien tanto el EZ como el SWIFT logran predecir gran parte del comportamiento durante la lectura se diferencian en los mecanismos cognitivos sobre los cuales se basan: ambos utilizan mecanismos similares de generación de sacadas (Findlay y Walker, 1999), pero mientras que el EZ plantea saltos secuenciales de atención entre palabras –esquemáticamente, se fija en una palabra, se procesa, se mueve el foco de atención a la siguiente, y luego se mueven los ojos– (Reichle, *et al.*, 1998; Reichle, *et al.*, 2003), mientras que en el SWIFT la atención está distribuida entre varias palabras adyacentes, y el procesamiento de todas se da en paralelo –pesado por una gaussiana centrada en la palabra que se está fijando– (Engbert, *et al.*, 2002; Engbert, *et al.*, 2005).

Es interesante en lectura que estos patrones también cambian según el objetivo del lector, es decir si es una lectura rápida, una lectura detallada o memorización.

Búsqueda visual

En búsqueda visual también existen una variedad de modelos, aunque generalmente estos predicen únicamente el patrón general de la secuencia de puntos de fijación, ya que la secuencia precisa es más difícil porque no existe una orientación definida como en el texto, o la cantidad de pasos necesarios para hallar el target en función de parámetros de la imagen. Para restringir estos modelos también es muy común presentar tareas con estímulos controlados, lo cual deja a la búsqueda visual en un punto intermedio entre la lectura y las imágenes naturales –donde los estímulos prácticamente no son controlados, más allá de la elección de la imagen o del agregado de ruido–.

Dos ejemplos son muy interesantes: 1) Un esfuerzo de generalización de uno de los modelos de lectura (SWIFT) en dos sentidos: Primero controlando la búsqueda para llevarla a una situación donde exista un orden de búsqueda determinado y donde los estímulos se puedan descomponer en “palabras” (Trukenbrod y Engbert, 2007), y segundo utilizando los mismos principios para predecir la distribución de tiempos de fijación en una búsqueda visual arbitraria (Nuthmann, *et al.*, 2010). 2) Modelos que evalúan las estrategias o los algoritmos de búsqueda utilizados por los sujetos, fundamentalmente en situaciones de alta incertidumbre (Najemnik y Geisler, 2005, 2009).

Imágenes naturales

En las imágenes naturales, en primer lugar es necesario establecer un mapa entre geometría (reglas locales y globales) y la información contenida en la porción de la imagen que se está mirando –y en la periferia–. Dos elementos resultan aquí de particular interés: 1) Las reglas de buena continuidad constituyen el arreglo más probable de las escenas naturales (Sigman, *et al.*, 2001) lo cual establece una sintaxis en las imágenes. En consecuencia, la interrupción de estas reglas, es decir las singularidades (cambios abruptos de superficie, puntos de gran curvatura, cruces de contornos) constituyen puntos altamente informativos (Feldman y Singh, 2005; Rao y Ballard, 1999). 2) Existe evidencia de una modulación de la actividad neuronal (Lee y Mumford, 2003) o de los umbrales de detección psicofísicos (Kovacs, *et al.*, 1998) en los centros de curvatura de formas arbitrarias, lo que sugiere un esquema económico de representación global de objetos extensos en pocos puntos significativos –un ejemplo clásico de la importancia de estos centros de curvatura es el conocido *triángulo de Kanizsa*–.

Los puntos de fijación se relacionan con elementos informativos del campo visual (Reinagel y Zador, 1999; Yarbus, 1967) y en particular, el valor informativo de distintos puntos depende de la tarea establecida y se observa que, aunque de forma fundamentalmente cualitativa, los puntos de fijación corresponden a una medida relevante (según la tarea) de información en la escena (Henderson, 2003; Otero-Millan, *et al.*, 2008; Yarbus, 1967). Por otro lado, la relación entre puntos de fijación consecutivos en imágenes ha sido abordado en relación a propiedades básicas de la estadística de la escena visual (Dragoi, *et al.*, 2002; Dragoi, *et al.*, 2001) pero no en función de la tarea.

1.4 *Siguiente paso: El cerebro en su hábitat natural*

1.4.1 Correlatos neuronales de lectura, búsqueda visual e imágenes naturales

Históricamente, los estudios de EEG asociados a procesos cognitivos estaban centrados en tiempos relativamente largos, o al menos relativamente largos para la duración de una fijación, en componentes como la P3 o la N400 que tiene sus picos entre los 350 y 450 ms, y comienzan no antes de los 300 ms. En estos estudios las condiciones de presentación de los estímulos en general son lentas (un estímulo por segundo) y los estímulos son presentados en la fóvea. En estas condiciones era difícil comparar con una situación natural donde estos estímulos son presentados embebidos en sacadas, con tiempos más cortos, dominados por el sujeto y con cierta carga de información previa –antes de mirar al objeto este ya estaba presente en la periferia–. En *lectura* se estudia el procesamiento de *palabras aisladas*, en *búsqueda visual* se estudia *búsqueda visual paralela* –con la mirada fija en el centro y los estímulos en la periferia–, y en imágenes naturales se estudia el procesamiento de objetos –caras, animales, herramientas, casas, paisajes, etc– presentados en la fóvea.

Sin embargo en los últimos años comenzaron a aparecer una serie de trabajos que muestra que gran parte de ese procesamiento puede ser mucho más rápido, aunque después se refine en tiempos compatibles con los potenciales antes mencionados.

Lectura

En el procesamiento de palabras el potencial tradicional era la N400, un potencial sensible a las relaciones semánticas, sin embargo ya la N1 (~150 ms) presenta diferencias ante la frecuencia de uso léxico de la palabra y por el contexto (Serenó, *et al.*, 2003; Sereno, *et al.*, 1998) (Figura 1.3.8) y en un estudio de EEG y fMRI que investiga el procesamiento inconsciente y consciente de palabras muestra que hay respuestas –inconscientes– más tempranas que 200 ms al contenido de la palabra (Dehaene, *et al.*, 2001).

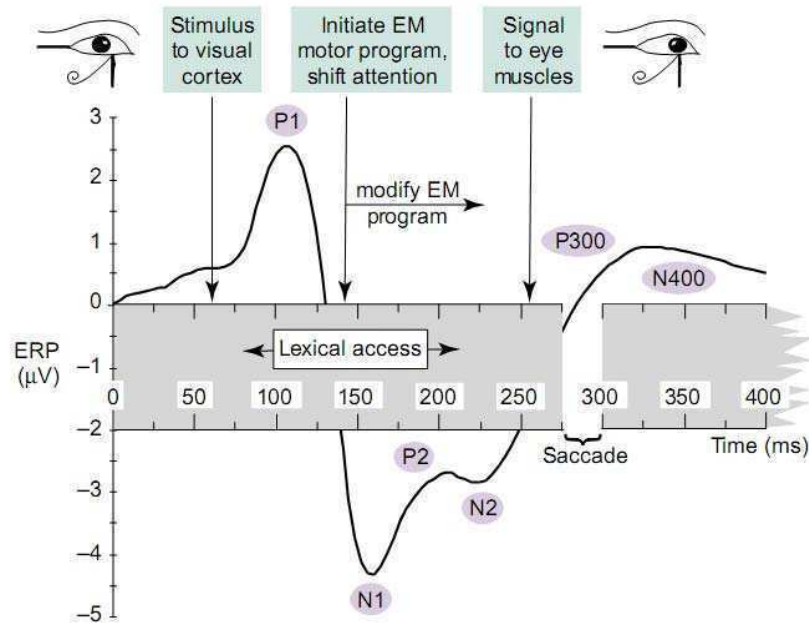


Figura 1.3.8 Esquema de un ERP clásico en respuesta a una palabra (trazo en el fondo), con las componentes clásicas asociadas (P1, N1, ... P300, N400), y los eventos asociados a la lectura en con las latencias provenientes de los modelos de movimientos oculares (Reichle, *et al.*, 2003; Sereno y Rayner, 2003). En esta figura se puede observar la supuesta incompatibilidad de ambos esquemas temporales.

Búsqueda visual

Los estudios de búsqueda visual en EEG se realizaron sobre paradigmas donde se mantenía la mirada fija y la búsqueda se realizaba en la periferia. En estos estudios se puede observar que información de la periferia sobre la presencia de un *target* entre muchos distractores puede estar disponible a partir de los 200 ms, reflejado en una componente llamada N2pc (Luck y Hillyard, 1994a, 1994b). Otros estudios relacionados muestran que, en experimentos de búsqueda visual periférica, la atención espacial funciona como amplificadora de la señal de EEG (Hillyard, *et al.*, 1998), esto apunta en el caso de movimientos oculares a que a través de las sacadas podríamos estar llevando constantemente nuestro foco de atención sobre el estímulo de interés, y los potenciales tempranos al menos deberían verse amplificados al igual que cualquier diferencia o efecto sobre el estímulo.

Imágenes naturales

Para las imágenes naturales también se encuentran potenciales que distinguen categorías en latencias de 150 ms (Johnson y Olshausen, 2003, 2005; Rousselet, *et al.*, 2002; Thorpe, *et al.*, 1996; VanRullen y Thorpe, 2001). En todos estos casos la mirada se mantuvo fija pero la atención fue capturada con presentaciones rápidas (Johnson y Olshausen, 2003, 2005) o claves que anticipaban la llegada del estímulo (Rousselet, *et al.*, 2002; Thorpe, *et al.*, 1996; VanRullen y Thorpe, 2001) (ver sección 1.3.5 > Procesamiento de la Información Visual II).

Estos estudios muestran que inclusive en situaciones sin movimiento de ojos, pero recreando a partir de manipulaciones experimentales, alguna de las condiciones de una situación natural –con movimiento de ojos libres–, los tiempos de la señal de EEG pueden ser más rápidos, compatibles con los tiempos del movimiento de los ojos.

1.4.2 Siguiente paso: El cerebro en su hábitat natural

Hoy en día se sabe mucho de la fisiología y las reglas que subyacen al comportamiento en una gran cantidad de tareas. Sin embargo, una aspiración sería poder estudiar al humano en contextos más naturalistas, “fuera del laboratorio”⁹. Existen muchas formas de acercarse progresivamente a este objetivo, la primera es utilizar estímulos naturales, sean imágenes naturales o textos que también componen un ámbito cotidiano donde se desarrolla la cognición del ser humano. En este sentido está disponible una amplia bibliografía en comportamiento –parte de la cual se desarrolló en esta introducción–. Una segunda alternativa es atacar la propiedad de continuidad que poseen las tareas cotidianas, que no están separadas en ensayos cortos sino que componen una secuencia de objetivos y subobjetivos, existe un volumen mucho menor de estudios en este sentido, algunos de estos trabajos están mencionados en la sección 1.2.10 y también la lectura puede ser entendida como una tarea secuencial. En el tercer nivel, las tareas no sólo poseen una secuencia de estados, sino que la misma no está impuesta por el experimentador sino por el sujeto que interactúa con la tarea, como podrían ser juegos de computadora sólo o contra un oponente, en este punto la bibliografía es prácticamente nula en cuanto a la fisiología, aunque hay una cantidad creciente de resultados comportamentales. En estas situaciones existe además una explosión de la cantidad de parámetros y estados posibles. Y en último lugar, existen algunos esfuerzos por generar la tecnología –basada en EEG– y las técnicas de análisis para poder hacer experimentos en personas caminando e interactuando con el entorno (Blankertz, *et al.*, 2010; Gwin, *et al.*, 2010, 2011; Hayhoe y Ballard, 2005; Millan, *et al.*, 2010)

1.4.3 Antecedentes de EEG y seguimiento ocular

En el camino presentado en el párrafo anterior es necesario poder registrar la señal de EEG libre de artefactos musculares, o poder extraer señal de entremedio de ellos. En los últimos dos años fueron publicados los primeros trabajos combinando estas técnicas¹⁰ (Dimigen, *et al.*, 2009; Ossandon, *et al.*, 2010; Parks y Corballis, 2010; Thickbroom, *et al.*, 1991; Yuval-Greenberg, *et al.*, 2008), que se suman a un grupo de trabajos de finales de la década del ‘80 describiendo la forma del artefacto producido por los movimientos oculares (Thickbroom y Mastaglia, 1985, 1986, 1990).

Caso 0: Thickbroom y Mastaglia (1985, 1986, 1990 y 1991)

Los primeros trabajos de Thickbroom y Mastaglia (Thickbroom y Mastaglia, 1985, 1986, 1990) estuvieron concentrados sobre el artefacto principal producido por los músculos del ojo al moverse, llamado *espiga presacádica* (*presaccadic spike*, *SP*), un potencial en forma de espiga justo en el momento en que los ojos empiezan a moverse. Sin embargo, en un trabajo posterior (Thickbroom, *et al.*, 1991) estudiaron los potenciales visuales tempranos relacionados al *onset* (*onda lambda*, *-wave*) y al *offset* de una sacada (*visual evoked potencial*, *VEP*). En estos registros se puede observar muy claramente como estos potenciales están superpuestos para sacadas cortas, y se separaban a medida que aumentaba la duración de la sacada. A su vez, mostraron que estos potenciales (*-wave* y *VEP*) pero no el *SP*, estaban también

⁹ Esto es válido para todos los humanos no pertenecen a la categoría a-punto-de-doctorarse, para los cuales el nicho más natural es justamente en el laboratorio frente a la computadora.

¹⁰ Y mientras escribo esta tesis continúan apareciendo nuevos trabajos, así que esta lista quedará inevitablemente incompleta aunque en un principio la intención fue hacerla extensiva, dado el poco volumen de trabajos existentes.

presentes cuando el sujeto fijaba la vista y la pantalla se movía simulando la sacada, y que la dinámica era la misma a medida que se variaba la duración del movimiento.

Es decir que hace 20 años se sabe que se pueden registrar estos potenciales de forma robusta, sin embargo este trabajo pasó al olvido y cosechó sólo una decena de citas relacionadas a la planificación de la sacada hasta los trabajos de Dimigen et al (2009) y Ossandon et al (2010).

Caso 1: Yuval-Greenberg y Deuoell (2008)

El trabajo de Yuval-Greenberg et al (2008) puso en tela de juicio una hipótesis muy influyente en los últimos años en neurociencia cognitiva. Esta hipótesis postula que la representación neuronal de un objeto esta codificada por una actividad sincrónica en la banda gamma (30 – 90 Hz) entre las poblaciones de neuronas que codifican las distintas partes y propiedades del objeto –es decir las distintas partes de un auto, su color, su velocidad, su tamaño, etc–, y que esta sincronía puede ser medida con el EEG como una respuesta transiente inducida en la banda gamma (iGBR) (Herrmann, et al., 2004; Keil, et al., 2001; Pantev, 1995; Tallon-Baudry, et al., 1999; Varela, et al., 2001).

La hipótesis de *binding por sincronía en la banda gamma* surge de registros en gatos y monos (Gray, et al., 1989; Kreiter y Singer, 1996), que fue ampliamente repetida en humanos con registros de EEG. En estos trabajos se observó un aumento de la potencia en la banda gamma luego de la presentación del estímulo a dos latencias distintas: Una primer respuesta a los 100 ms (“respuesta gamma evocada”) y una respuesta más tardía entre los 200 y 300 ms, bastante variable entre ensayos por lo que no contribuye al potencial evocado (“respuesta gamma inducida”, iGBR) (Pantev, 1995). Un pilar importante de esta hipótesis fueron los resultados en humanos que muestran un aumento en la iGBR cuando las partes de la imagen están perceptualmente unidas, dando lugar a objetos coherentes (gestalts), en relación a cuando los fragmentos no se unen perceptualmente (Lutzenberger, et al., 1995; Tallon-Baudry, et al., 1996).

Todos estos trabajos fueron hechos sin tener en cuenta los movimientos oculares, sólo controlando que los sujetos fijaran su vista en el centro de la pantalla pero es sabido, en el campo de los movimientos oculares, que a pesar de estar fijando la vista en un punto el ojo sigue en movimiento realizando pequeñas caminatas al azar intercalados con saltos veloces pero también pequeños (menores a 1°) –i.e. microsacadas– a una frecuencia de 1 o 2 por segundo (Engbert, 2006; Engbert y Kliegl, 2003; Martinez-Conde, et al., 2004). Estas microsacadas, como se mencionó anteriormente, poseen propiedades similares a las sacadas pero tiene menor amplitud (Otero-Millan, et al., 2008) y están moduladas por las propiedades del objeto.

En el trabajo de Yuval-Greenberg et al (2008) muestran concluyentemente que los iGBR son el reflejo en frecuencias de los potenciales evocados por las microsacadas, ya que coinciden con el *onset* y su curso temporal refleja la dinámica de las mismas, y aunque este estudio no descarta el rol de la actividad en la banda gamma en registros intracraneales (Canolty, et al., 2007; Gray, et al., 1989; Lachaux, et al., 2005; Tallon-Baudry, et al., 2005; Varela, et al., 2001; Womelsdorf, et al., 2006), si pone en duda todos los resultados obtenidos con EEG, que son una base importante de los argumentos a favor de la relación entre iGBR y las funciones

perceptuales superiores y cognitivas (incluidos los resultados previos del mismo grupo (Yuval-Greenberg y Deouell, 2007; Yuval-Greenberg, *et al.*, 2008)¹¹).

Este trabajo tuvo un gran impacto y recibió varias respuestas (Fries, *et al.*, 2008; Jerbi, *et al.*, 2009; Keren, *et al.*, 2010; Melloni, Schwiedrzik, Rodriguez, *et al.*, 2009; Melloni, Schwiedrzik, Wibral, *et al.*, 2009; Yuval-Greenberg, *et al.*, 2009). Recientemente otro trabajo del mismo grupo se detiene en los aspectos técnicos de la co-adquisición de datos de EEG y Seguimiento Ocular, y en la detección y remoción de artefactos, contestando muchas de las críticas planteadas (Keren, *et al.*, 2010) y proponiendo un protocolo para evitar estos artefactos al analizar frecuencias en EEG.

Caso 2: Dimigen et al (2009)

Este estudio tiene también un enfoque parecido al anterior, poniendo en duda otro cuerpo de trabajos en EEG. Nuevamente se enfoca sobre el efecto de las microsacadas, estudiando esta vez los potenciales evocados (ERPs) por las microsacadas en tareas en las que se requiere fijar la vista, y cómo estos potenciales pueden afectar la señal relacionada a los estímulos.

En este trabajo se estudian 3 tareas simples: 1) los sujetos deben fijar o hacer sacadas a distintos puntos de un tablero de ajedrez, 2) los sujetos deben fijar sobre un rostro, y 3) una tarea tipo *oddball clásica* en la que el estímulo frecuente es un disco verde y el estímulo infrecuente (*target*) es un disco rojo. Los estímulos son presentados por tiempos breves seguidos de intervalos más largos, y el sujeto debe mantener la mirada en el centro.

En los 3 experimentos encuentran respuestas evocadas por la microsacada similares con un pico de una latencia apenas mayor a 100 ms (positivo en los electrodos occipitales). Es decir que corresponden a ERPs visuales y no al artefacto motor. Estas respuestas son también similares a las producidas luego de una sacada (ver experimento 1 de Dimigen et al, 2009). En el último de los experimentos encuentran que, dado que la distribución de microsacadas en el tiempo no es homogénea, aún cuando promedian los ensayos alineados al tiempo de presentación del estímulo hay una diferencia significativa entre la señal con y sin microsacadas.

Este trabajo además de mostrar las respuestas tempranas asociadas a las microsacadas y sugerir una ubicación de las fuentes generadoras similar a las respuestas visuales evocadas por un estímulo, pone a las microsacadas otra vez en el contexto de una tarea de EEG clásica mostrando que parte de los resultados pueden ser explicados por una respuesta asociada directamente a la presencia de microsacadas e indirectamente a la presentación del estímulo (en todos estos casos la presencia de microsacadas y sus propiedades están asociadas a los estímulos, por lo que las respuestas que estas evocan siguen asociadas, al menos indirectamente, a los estímulos).

¹¹En el trabajo de Yuval-Greenberg y colaboradores (2008) escriben: “*The scalp-recorded iGBR, a typical enhancement of broadband gamma power ~200–300 ms following the onset of the stimulus, has been used extensively as an EEG measure for synchronous neural oscillation, an approach that we previously adhered to (Yuval-Greenberg y Deouell, 2007). Here, we showed however that the most likely source of this iGBR is ocular rather neuronal.*”

Caso 3: Ossandon et al (2010)

Este es el primer trabajo que busca poner en el contexto de tareas naturales teorías existentes sobre la generación de respuestas evocadas (ERPs) en el cerebro. En particular se propone contrastar dos hipótesis: 1) que los ERPs reflejan un incremento en la actividad sincrónica en un área del cerebro, o 2) un realineamiento de la fase de la actividad oscilatoria existente. Para ello presentan la respuesta de 2 canales de EEG ubicados en la región occipital en simultáneo con la posición del ojo mientras el sujeto mira libremente una escena natural (paisajes) o fondos homogéneos (negros o grises). También se muestran componentes visuales tempranas, pero con movimientos oculares libres. Estas componentes están presentes sólo cuando los sujetos están mirando escenas naturales (cuando hay estímulos presentes en el punto de fijación). Es decir, que los ERPs están relacionados no sólo al movimiento de los ojos, sino también a algunas propiedades del estímulo presentado, como la luminancia del punto en que se está fijando. Finalmente, presentan un modelo mixto de superposición de actividad sincrónica preexistente con una respuesta en fase con el estímulo –la fijación–, como mejor candidato a explicar los ERPs observados.

Caso 4: Park y Corballis (2010)

Este trabajo reproduce resultados anteriores de fisiología en monos acerca del remapeo de campos receptivos en una tarea donde se presentan estímulos cercanos al momento de ejecución de una sacada. Contrastando una serie de condiciones donde: 1) El estímulo se presenta entre el punto de partida de los ojos y el punto de llegada, es decir que cambia de lado durante la sacada y por lo tanto de hemisferio en el que se deberían registrar los potenciales visuales, y 2) Donde la sacada se dirige hacia el otro lado del estímulo es decir que la activación visual debería mantenerse en el mismo hemisferio. En este experimento se observa una diferencia significativa en la lateralización entre condiciones, 50 ms antes de mover los ojos, momento en el cual el estímulo todavía no había cambiado de lado.

2. Objetivos generales

El objetivo general en el cual se enmarca esta tesis es entender la sintaxis y la estructura del proceso de resolución de una tarea compleja, como puede ser analizar una escena natural o la lectura. Dentro de este marco nos enfocamos sobre los objetivos parciales detallados a continuación, yendo desde la interferencia entre dos tareas concurrentes a tareas presentadas secuencialmente y finalmente a tareas intrínsecamente secuenciales como es la búsqueda visual, donde el propio participante impone el paso a la tarea.

El primer objetivo es proponer una prueba crítica al modelo de *Cuello de botella serial* (Pashler, 1984; Sigman y Dehaene, 2005, 2008). Al interferir dos tareas concurrentes, la que fue presentada segunda se retrasa debido a la presencia de procesos seriales en cada una, pero según el modelo ni la tasa de error ni la distribución de la tasa de error deberían verse afectadas. Esta última predicción crítica todavía no ha sido explorada ([sección 4.1](#)).

Otro aspecto poco estudiado del fenómeno de interferencia entre tareas es el aprendizaje, en particular si es posible evadir el cuello de botella a través del entrenamiento intensivo, volviendo paralelos procesos que antes sólo podían realizarse de forma secuencial ([sección 4.2](#)).

A su vez el protocolo de interferencia de tareas permite separar procesos dentro de una tarea según sus propiedades (seriales/paralelos, con duraciones fijas/estocásticas). Por lo que resulta un espacio de trabajo ideal para estudiar qué etapas dentro de la resolución de una tarea son susceptibles al aprendizaje ([sección 4.2](#)).

Haciendo uso de los resultados obtenidos y de la bibliografía existente sobre la descomposición de una tarea, se buscará estudiar qué componentes cognitivos se encuentran deteriorados en pacientes de Esclerosis Múltiple en un estadio temprano de la enfermedad. Esta patología resulta interesante ya que recientemente se descubrió que los síntomas cognitivos aparecen antes que los síntomas motores –que eran los síntomas distintivos de esta enfermedad–, por lo que buscar marcadores tempranos para incorporar a las baterías cognitivas actuales puede tener gran impacto en el diagnóstico actual de esta y otras patologías (Bekinschtein, *et al.*, 2009; Del Cul, *et al.*, 2006; Reuter, *et al.*, 2007) ([sección 4.3](#)).

Al explorar la transición de tareas simples a tareas que involucran varios pasos simples como la aritmética, buscamos entender cómo se concatenan los procesos internos de una tarea aritmética presentada de forma secuencial ($(((((3+2)=5)-4=1)+1)=2)+ \dots$). Los parámetros principales a estudiar son: 1) La representación de los números, entendiendo que la información simbólica o no-simbólicamente puede ser procesada de forma distinta en el cerebro, y 2) El ritmo –la velocidad– al que son presentados los estímulos ([sección 4.4](#)).

En las [secciones 4.5 y 4.6](#) intentaremos trasladar progresivamente muchas de las nociones aprendidas a un nicho más natural para cualquier animal, y en particular para los humanos, como lo es la exploración de una escena visual. Esta exploración es una tarea intrínsecamente secuencial (Roelfsema, 2005; Ullman, 1984; Yarbus, 1967). Cuando miramos una imagen hacemos una sucesión de movimientos muy rápidos (sacadas) y detenciones (fijaciones) a un ritmo de 3 por segundo, y a través de esta secuencia discreta es que incorporamos información de porciones pequeñas del espacio y la integramos en la noción de haber visto, por ejemplo, un paisaje.

En la sección 4.5 estudiaremos la adquisición de información a lo largo de una fijación, entendida como la unidad de procesamiento dentro de esa secuencia. En particular nos interesa determinar cuál es ventana temporal en la cual se puede adquirir información, caracterizarla desde el punto de vista de la calidad de esa información, de su capacidad, y de cómo interactúan distintos estímulos en la fijación. Finalmente, nos preguntamos si esta es realmente la unidad de procesamiento, mediante un experimento de pestañeo atencional, o si por el contrario el mecanismo de exploración de una escena puede ser independiente del procesamiento –y agrupamiento– de los estímulos.

En la última sección (4.6), el objetivo planteado será estudiar las bases neurofisiológicas de análisis de una escena visual, el cual implica además el desafío técnico de sincronizar el registro de EEG y seguimiento ocular, y lidiar con los artefactos motores producidos por el movimiento de los ojos. Decidimos comenzar con una escena e instrucciones simples como es una búsqueda visual sobre una serie de estímulos dispersos (una escena donde la información está bien discretizada en el espacio), para determinar si es posible obtener una buena señal conjunta de EEG y movimientos oculares, y a su vez observar si los potenciales evocados por una fijación siguen una dinámica y poseen una topología similar a los evocados por estímulos percibidos manteniendo los ojos fijos, o si por el contrario presentaba diferencias. En particular, este experimento tiene como fin empezar a poner en un marco común los resultados – y los tiempos – de los experimentos de EEG y movimientos oculares.

3. Métodos generales

Participantes

Los experimentos presentados en la presente tesis fueron aprobados por el *Comité de Ética del Centro de Educación Médica e Investigaciones Clínicas "Norberto Quirno" (CEMIC)*, certificado por el *Department of Health and Human Services (HHS, USA): IRb00001745 - IORG 0001315*, excepto la sección 4.2 en la cuál los experimentos fueron llevados a cabo en *Learning, Attention and Perception Lab, UCSD, CA, EEUU*. Todos los participantes firmaron un consentimiento escrito y eran naíves respecto de los objetivos del experimento, excepto: JEK en 4.1, 4.4 y los experimentos control de 4.6; AZ en 4.4; y JN en 4.5.

Todos eran hispano parlantes nativos, excepto en la sección 4.2 (anglo parlantes), y tenían visión normal o corregida a normal.

Aparatos

Excepto que se lo mencione explícitamente los experimentos fueron realizados con el siguiente equipamiento.

Presentación de estímulos

Los estímulos visuales fueron presentados en un monitor CRT de 19" (Samsung SyncMaster 997MB), en una resolución de 1024 x 768 y una frecuencia de refresco de 75 Hz. Los participantes se ubicaron en una silla a aproximadamente 60 cm de la pantalla.

Los estímulos auditivos fueron presentados a través de auriculares circumaurales.

Las respuestas fueron adquiridas con teclados y ratón regulares.

En las secciones 4.1 y 4.3 el programa de presentación de estímulos fue programado en Python (<http://www.python.org/>) utilizando librerías de PyGame (<http://www.pygame.org/>). En la sección 4.2 el programa de presentación de estímulos utilizado fue ePrime (<http://www.pstnet.com/eprime.cfm>). En las secciones 4.4, 4.5, y 4.6 los programas de presentación de estímulos fueron escritos en Matlab (Mathworks, Natick, MA) utilizando las librerías de PsychToolbox (Brainard, 1997) (<http://psychtoolbox.org/>).

Adquisición de datos de Seguimiento Ocular

Los datos de seguimiento ocular fueron adquiridos con equipo EyeLink II (SR Research, Ontario, Canada, http://www.sr-research.com/EL_1000.html) en una computadora de registro exclusiva. Los datos presentados corresponden en su mayoría a una configuración de adquisición Binocular, adquiridos con una frecuencia de muestreo de 1 kHz en cada ojo. Y calibrados con una configuración de 13 puntos.

En todos los casos los sujetos estaban sentados a 60 cm de la pantalla y con la cabeza estabilizada con una mentonera de diseño propio. En la sección 4.5 la mentonera diseñada por Diego Shalom y Pablo Polosecki tenía un soporte para el mentón y otro para la frente. En la sección 4.6 en cambio diseñamos una mentonera (JEK y Federico Agüero) que se pudiese utilizar junto con el EEG, ya que no puede usarse como apoyo a la frente dado que allí también se colocan electrodos (ver (Keren, *et al.*, 2010) donde tuvieron que reducir el número de electrodos para colocar

el equipo de seguimiento ocular). La nueva mentonera tiene un mejor apoyo en el mentón –más anatómico y con mayor superficie de contacto–, y dos soportes más en las mejillas

El *setup* completo se puede observar en la Figura 3.1.



Figura 3.1 A) *Setup* completo con la mentonera anterior (sin el soporte en la frente), el monitor CRT 19" con el equipo de seguimiento ocular debajo (panel derecho), y el gorro con los 128 electrodos colocados (paneles izquierda). En los paneles de la izquierda también se pueden observar los electrodos externos colocados alrededor del ojo. B) Mentonera nueva con mejor soporte para el mentón y dos soportes para las mejillas.

Adquisición de datos de Electroencefalografía (EEG)

Los datos fueron adquiridos con un equipo Biosemi ActiveTwo (Biosemi, Ámsterdam, Holanda, <http://www.biosemi.com/products.htm>) de 128 canales en una computadora de registro exclusiva. La frecuencia de adquisición fue de 1024 Hz. Además de los 128 canales de EEG, se registró el electrooculograma (EOG) con 4 canales ubicados: dos en el canto ocular externo de ambos ojos, uno por encima de la ceja derecha y el último por debajo del ojo derecho (en la mejilla); los canales de referencia fueron colocados en el lóbulo de la oreja derecha en todos los casos, y en la mayor parte de los experimentos se colocaron también dos electrodos de referencia en la zona de los huesos mastoides, derecho e izquierdo (detrás de las orejas).

4. Resultados

4.1. PRP y tareas no simbólicas: Una prueba crítica para el modelo de cuello de botella secuencial.

Métodos específicos

Participantes

Para el presente estudio fueron evaluados un total de 16 participantes (6 hombres / 10 mujeres, edad 25 ± 4).

Estímulos y tareas

Tarea numérica

El estímulo visual consistió en un círculo blanco sobre fondo negro, que a su vez contenía un conjunto de puntos negros (ver Figura 4.1.1A). El círculo blanco fue presentado en el centro de la pantalla por 200 ms. La cantidad de puntos negros (n) se varió entre 10 y 40, balanceada sobre una escala logarítmica y centrada en 20. La distribución espacial de los puntos negros fue variada pseudo-aleatoriamente, balanceando propiedades extrínsecas e intrínsecas del conjunto de puntos (i.e. la luminancia total y el tamaño del punto), de forma similar a estudios de comparación numérica anteriores (Barth, *et al.*, 2006; Cantlon y Brannon, 2006; Piazza, *et al.*, 2004; Pinel, *et al.*, 2004; Staffen, *et al.*, 2002).

Los participantes debían responder a la tarea numérica apretando una única tecla con el dedo mayor o índice de la mano derecha, para indicar si la cantidad de puntos era mayor o menor que una referencia fija ($n_{ref} = 20$), respectivamente. Esta referencia “objetiva” se mantuvo a lo largo de todo el experimento en el centro de la escala logarítmica con la que se generaron los estímulos.

Los estímulos se presentaron en un monitor de 14” con una tasa de refresco de 60 Hz.

Tarea auditiva

El estímulo auditivo consistió en un tono puro con un 20% de ruido blanco (para evitar que el contenido espectral sea muy agudo), de 200 ms de duración. La frecuencia del tono varió entre 350 Hz y 1400 Hz, balanceadas sobre una escala logarítmica y centrada en 700 Hz. La escala y la cantidad de tonos fue elegida empíricamente de modo de ecualizar la dificultad de ambas tareas (Figuras 4.1.1C y 4.1.1D).

Los participantes debían responder a esta tarea apretando una única tecla con el dedo mayor o índice de la mano izquierda, para indicar si la cantidad de puntos era mayor o menor que una referencia fija (700 Hz), respectivamente.

Los estímulos auditivos se presentaron con auriculares.

Procedimiento general

Se instruyó a los participantes para realizar ambas tareas, haciendo énfasis en que debían realizarlas con velocidad y precisión, comenzando la respuesta en el momento en que se presentaba cada estímulo, es decir sin esperar a que ambos estuvieran presentes ni agrupando las respuestas. También se hizo énfasis en que ambas tareas eran igualmente importantes y que la concreción correcta de un ensayo equivalía a responder correcta y rápidamente a ambas tareas.

El experimento fue dividido en 17 bloques de 42 ensayos. En cada bloque, la diferencia de tiempo entre la presentación de los estímulos (*Stimulus Onset Asynchrony*, SOA) y el orden en que se presentaron los estímulos fue variado pseudo-aleatoriamente entre ensayos, tomando 7 posibles valores de SOA ({100, 250, 400, 600, 800, 1000, 1250} ms) y dos de orden ({Números primero, tonos primero}). Cada uno de estos posibles 14 ensayos fue repetido 3 veces por bloque (Figura 4.1.1A). El tiempo máximo para completar las respuestas varió al azar entre 2300 y 2600 ms a partir de la presentación del segundo estímulo.

Antes del comienzo del experimento, se presentaron 10 repeticiones de las referencias auditiva y numérica (variaciones como las descritas más arriba del conjunto de 20 puntos). Para evitar desplazamientos de la representación interna de la referencia (*referencia interna*), se presentaron además 2 repeticiones de las referencias auditiva y numérica al principio de cada bloque. Los participantes completaron un total de 17 bloques (714 ensayos) a lo largo de una única sesión de experimentación.

Los participantes fueron entrenados antes de comenzar con la recolección de datos, con 1, 2 o 3 bloques idénticos a los descritos previamente. El desempeño fue monitoreado en el momento, de modo que no se comenzaba con la sesión propiamente dicha si no se alcanzaba un desempeño aceptable (i. e. si lograban evitar agrupar las respuestas y los tiempos de respuesta eran menores a 1300 ms por 10 ensayos consecutivos).

Análisis de los datos.

Definiciones

Todos los análisis descritos en este trabajo para los RTs fueron hechos sólo para las respuestas correctas. Se excluyeron los ensayos en los que los RTs para una tarea excedían 2.5 veces el RT medio para esa tarea y para el mismo participante, y los ensayos en los que los participantes respondían sólo a una tarea. Los ensayos rechazados resultaron ser menores al 10%.

Las ANOVAs fueron realizadas por medidas repetidas y los participantes tratados como factor aleatorio. A menos que se aclare lo contrario todos los t-test fueron pareados para valores calculados en el mismo participante (N = 16 en todos los casos).

La distancia numérica (r) está definida como el valor absoluto de la diferencia entre la cantidad presentada (n) y la referencia objetiva (n_{ref} , igual a 20 para todo el experimento). Para la mayor parte del análisis se utilizó la escala logarítmica para la r definida como:

$$r = \text{Log} \left(\frac{n}{n_{ref}} \right) \quad (\text{ecuación 4.1.1})$$

Para algunos análisis categorizamos los valores de SOA en “SOA cortos” (SOA = {100, 250, 400} ms) y “SOA largos” ({600, 800, 1000, 1250} ms) (ver Figura 4.1.1C). En el mismo sentido, categorizamos las distancias logarítmicas en cercanas ($r < 0.25$) y lejanas ($r > 0.25$, ver Figuras 4.1.2A y 4.1.2B).

Variables experimentales estimadas a partir de regresiones

Para cuantificar la preferencia en la elección de la respuesta, la probabilidad de responder primero la tarea numérica fue ajustada con una sigmoidea desplazada, con dos parámetros libres: a y b :

$$\frac{1}{1 - \exp(-a \cdot (x - b))} \quad (\text{ecuación 4.1.2})$$

El parámetro libre b corresponde al SOA para el cual ambas tareas eran respondidas primero con igual probabilidad (50%SOA, Figura 4.1.1B). Se estimó el 50% SOA en cada participante, para luego promediarlo entre participantes y someterlo al análisis estadístico. Todos los ajustes fueron realizados en MATLAB con el método de Cuadrados Mínimos No-Lineales y el algoritmo de Levenberg-Marquardt.

La *Fracción de Weber Interna* (w) fue estimada ajustando las tasas de error como función de la distancia logarítmica a la predicción teórica dada por las ecuaciones 4.1.3 y 4.1.4. El análisis fue hecho colapsando los datos para todos los valores de SOA para ambos órdenes de presentación. Los ajustes para estimar el w fueron realizados para cada participante. Los valores obtenidos fueron promediados (Figuras 4.1.2A,3B) y sometidos al análisis estadístico. A menos que se indique lo contrario, la referencia interna –i.e. la distancia numérica a la cual los participantes responden al azar– fue fijada igual a la referencia objetiva. En los ajustes de las figuras 4.1.2B,3C la *distancia logarítmica entre la referencia interna y la referencia objetiva*, referida como z fue considerada como un parámetro libre más (ecuación 4.1.4).

Resultados

Selección de la tarea y ejecución en una tarea doble de decisión analógica.

Se instruyó a los participantes a responder a un estímulo visual y uno auditivo tan rápido como les fuera posible (Figura 4.1.1A). El estímulo auditivo era un tono puro de 200 ms de duración con una frecuencia elegida al azar a partir de la siguiente lista: {350, 441, 556, 882, 1111, 1400} Hz, y los participantes debían responder con el dedo índice o mayor de la mano izquierda según si la frecuencia era mayor o menor que una referencia fija en 700 Hz. El estímulo visual consistió en un conjunto de puntos, y los participantes debían responder con el dedo índice o mayor de la mano derecha según si la cantidad era mayor o menor que una referencia fija en 20 puntos. Se balancearon las propiedades extrínsecas e intrínsecas del estímulos de forma que no se pudiese extraer información de ellas para reportar la cantidad (Cantlon y Brannon, 2006; Pinel, *et al.*, 2004; Staffen, *et al.*, 2002). La cantidad de puntos presentada varió entre 10 y 40, distribuida uniformemente sobre una escala logarítmica. Por último, el

orden y el tiempo entre los estímulos (SOA) presentados también eran impredecibles. Los valores de SOAs se variaron entre 100 y 1250 ms.

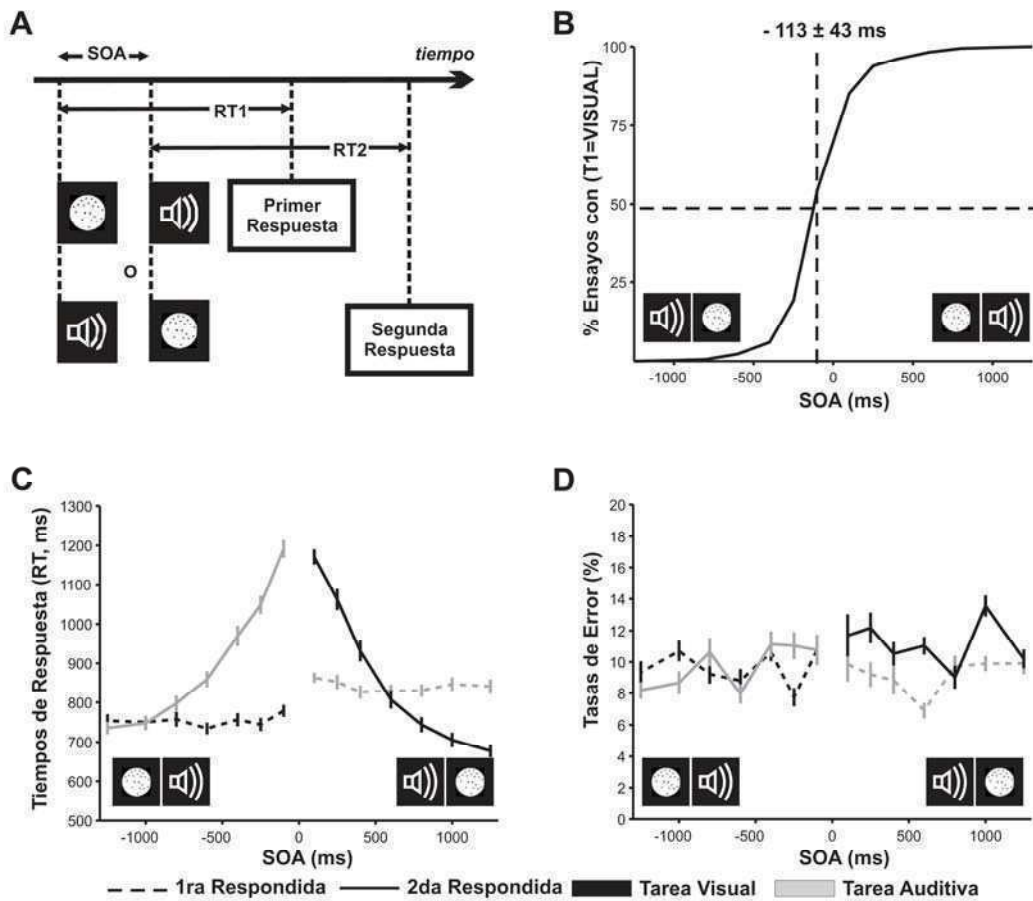


Figura 4.1.1 Diseño de la tarea y efecto del SOA sobre el orden de respuesta, RTs y tasa de error. A) Diseño Experimental. Una tarea de comparación numérica (visual) y otra de discriminación de tonos (auditiva) fueron presentadas a un SOA variable. El orden de la tarea fue desconocido y los RTs de cada tarea se midieron desde la presentación de los estímulos correspondiente. B) Orden de Respuesta en función del SOA. C,D) RTs y tasa de error como función del SOA. Los SOA positivos corresponden a los ensayos en que la tarea visual fue presentada segunda. Se observa un efecto tipo PRP clásico (C). RT2 (líneas sólidas) decrece con una pendiente cercana a -1 para SOAs cortos hasta alcanzar una meseta. RT1 no es afectado por el SOA (líneas punteadas). Y tampoco lo son las tasas de error (D), tanto para la tarea visual como auditiva (líneas negras y grises respectivamente).

En primer lugar, los participantes debían decidir a qué estímulo responder primero. Si bien eran instruidos a responder en el orden en les eran presentados, para SOAs cortos esta decisión no era necesariamente simple. La dependencia de la elección de la primera tarea a responder con el SOA (Figura 4.1.1B) resultó seguir una relación sigmoidea. Esto indica que, como es esperable, esta elección estaba determinada por el orden de presentación, con cierto error y cierto desplazamiento temporal. Este desplazamiento se ve reflejado en que a $SOA = 0$ (presentación simultánea), los ensayos en los que la tarea visual era respondida primero correspondían a un $74 \pm 2\%$ del total. El SOA para el cual se respondía con el orden al azar $-50\%SOA-$ era de 113 ± 11 ms. A su vez el intervalo de incerteza en el orden de respuesta, entre el 80% de respuesta a la tarea visual primero y el 80% a la tarea auditiva primero fue de 303 ± 21 ms. Estos resultados están en estrecha concordancia

con los resultados previos en una tarea doble en la cual las cantidades eran presentadas en dígitos arábigos o palabras y la tarea auditiva era una decisión entre dos tonos (Sigman y Dehaene, 2005).

Efecto de SOA en los tiempos de respuesta (RTs) y las tasas de error

Un análisis de la dependencia del RT con el SOA (Figura 4.1.1C) reveló un efecto de PRP clásico –i.e. los RTs de la primer tarea respondida (RT1) no fueron afectados por el SOA mientras que los RTs de la segunda tarea (RT2) se incrementaron al disminuir el SOA–. Para los SOAs cortos ({100, 250, 400} ms) en los ensayos en los que se respondió a la tarea auditiva primero, la pendiente obtenida a partir de la regresión de los RT2 con el SOA no difería significativamente de -1, como predice el modelo de cuello de botella secuencial (valor medio de la pendiente estimada para cada sujeto: -0.80 ± 0.10 , t-test comparando la media con -1: $t=2.07$, $p=0.06$, CI: [-1.01,-0.59]). Para los ensayos en los que se respondía a la tarea visual primero, la pendiente obtenida fue negativa pero significativamente mayor a -1 (media = -0.74 ± 0.06 , $t=4.53$, $p<0.001$, CI: [-0.86,-0.61]). A su vez, para los SOAs largos ({600, 800, 1000, 1250} ms), el RT2 alcanzaba una meseta en la cual se volvía independiente del SOA.

Mientras que esta es la observación clásica en un estudio de PRP, en estudios previos se había observado (y ver también sección 4.2) que en situaciones en las cuales el orden de las tareas era desconocido, el RT1 sufría un pequeño incremento para SOAs cortos. Sin embargo en este trabajo, en el que el orden también es desconocido no hemos replicado este resultado (t-test comparando RT1 a SOA = {100, 250} ms con SOA = {1000, 1250} ms para la tarea visual: $t=0.58$, $p=0.57$, CI: [-27.82,-48.51]; y para la tarea auditiva: $t=0.41$, $p=0.68$, CI: [-29.85,-22.20]). El incremento en RT1 es explicado a partir de la existencia de una primer componente ejecutiva que involucra una decisión respecto al orden en que se ejecutarán los siguientes procesos –las decisiones específicas de cada tarea– (Sigman y Dehaene, 2006; y ver sección 4.2). La duración de esta primer componente ejecutiva depende del SOA, es decir que cuando los estímulos vienen muy juntos esta decisión es más difícil, esta dificultad se refleja en un aumento de la duración de esta componente y por lo tanto del RT1 (Sigman y Dehaene, 2006; y ver sección 4.2); así como también depende del conocimiento previo respecto al orden de las tareas, si el orden es desconocido puede ser esperable que esta componente sea mayor, aunque en los casos en que el RT1 es muy bajo también es posible observarla. Una posible explicación para la desaparición de esta componente en el presente experimento es que la saliencia de los estímulos disminuye el conflicto entre las tareas –como estímulos visuales suelen utilizarse dígitos negros sobre fondo gris, mientras que en este experimento son puntos negros sobre un círculo blanco en fondo negro–.

Luego nos concentramos en la dependencia del número de errores (promediado en todas las posibles distancias) como función del SOA (Figura 4.1.1D). No se observaron cambios significativos en la tasa de error con el SOA para la primera o segunda tarea respondida, independientemente de si era la tarea visual o auditiva (en los 4 casos, aplicando t-test para comparar la tasa de error entre SOAs cortos y largos, se obtuvieron p-valores mayores a 0.1). Es decir que, en un contraste tajante con lo observado para los RTs en una tarea doble, las tasas de error no se ven afectadas por la interferencia entre las dos tareas. Este es el resultado principal de esta sección y apoya fuertemente el modelo de cuello de botella secuencial para la resolución de varias tareas independientes en tiempos cortos.

Efecto de la distancia, orden de la tarea y SOA en las tasas de error

Mientras que la tasa de error es un estimador muy informativo de los procesos cognitivos subyacentes a la resolución de una tarea, aspectos más cuantitativos acerca del proceso de decisión pueden ser entendidos mediante la dependencia de los errores con la variable crítica involucrada en la decisión. En nuestro experimento, la evidencia está determinada por el *logaritmo de la distancia numérica* (r). En el caso de la tarea de comparación numérica, bajo la hipótesis de una representación Log-Normal de la cantidad (M. G. Van Oeffelen y P. G. Vos, 1982), la probabilidad de responder mayor (menor) para una dada cantidad (n) y una referencia fija (n_{ref}) puede ser calculada analíticamente (P_{larger}) (Dehaene, 2007) y es determinada por la siguiente ecuación:

$$P_{larger}(n, n_{ref}) = \int_{\log(n_{ref})}^{+\infty} \frac{\exp\left(-\frac{(x - \text{Log}(n))^2}{2 \cdot w^2}\right)}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot w} dx = \frac{1}{2} \cdot \text{erfc}\left(-\frac{r}{\sqrt{2} \cdot w}\right) \quad (\text{ecuación 4.1.3})$$

Donde r es la distancia logarítmica ($r = \text{Log}(n/n_{ref})$), y w es la *Fracción de Weber Interna*. Esta distribución teórica fue usada para estimar w para diferentes condiciones experimentales. En esencia, w determina la resolución en distancias del proceso de decisión.

Medimos P_{larger} como función de la cantidad (Figura 4.1.2A) para los ensayos en los que la tarea visual fue respondida primera y para los que fue respondida segunda, promediando a través de todos los valores de SOA y ajustando la predicción teórica dada por la ecuación 4.1.3 a las distribuciones obtenidas experimentalmente. Los ajustes fueron precisos como se puede observar en la Figura 4.1.2A –e indican los pequeños valores obtenidos de *Error Cuadrático Media (RMSE)*–, sugiriendo que el modelo teórico propuesto provee una descripción adecuada de nuestros datos experimentales para todas las condiciones (RMSE: Ensayos donde la tarea visual fue respondida primero: 0.026 y respondida segunda: 0.055). La *Fracción de Weber interna* no fue afectada por el orden de las tareas (t-test comparando los ensayos con la tarea visual respondida primera y respondida segunda: w : 0.16 ± 0.01 y 0.18 ± 0.02 respectivamente; $t=1.22$, $p=0.24$, CI: $[-0.01, 0.05]$). Los valores obtenidos de w son similares a los reportados previamente en la literatura (Cordes, *et al.*, 2001; Piazza, *et al.*, 2004; Pinel, *et al.*, 2004; M. G. Van Oeffelen y P. G. Vos, 1982).

En los ajustes previos asumimos que la referencia interna –i.e. la distancia numérica a la cual los participantes responden mayor o menor a nivel de chance– fue fijada en la referencia objetiva (igual a 20 a través de todo el experimento). Sin embargo, muchos estudios de comparación numérica han mostrado que hay una subestimación sistemática de la cantidad para números grandes (Indow y Ida, 1977; Krueger, 1982, 1984), indicando que la referencia interna y objetiva pueden no coincidir. Por lo que realizamos un segundo ajuste a los datos en el cual la w y la referencia interna fueron consideradas como parámetros libres (Figura 2B), ajustando los datos a la siguiente ecuación:

$$P_{larger}(n, n_{ref}) = \frac{1}{2} \cdot \text{erfc}\left(-\frac{r - z}{\sqrt{2} \cdot w}\right) \quad (\text{ecuación 4.1.4})$$

Donde r y w son los mismos que en la ecuación 4.1.3 y z es la distancia logarítmica entre la referencia interna y objetiva. Estos ajustes mejoraron levemente para los ensayos en los que la tarea visual fue respondida primera después de la inclusión de la referencia interna (*RMSE*: ensayos en los que la tarea fue respondida primera y segunda: 0.027 y 0.036 respectivamente; Figura 4.1.2B). La fracción de weber interna no fue afectada por el orden de respuesta de ambas tareas (t-test comparando los ensayos en los que la tarea visual fue respondida primera y segunda: w : 0.15 ± 0.01 y 0.17 ± 0.01 respectivamente, $t=1.12$, $p=0.28$, CI: $[-0.01, 0.04]$). Los valores de w obtenidos no difirieron significativamente de los valores obtenidos en los ajustes previos. Cabe destacar que hemos observado un cambio significativo de la referencia interna en función del orden de las tareas (t-test pareado: $t=2.54$, $p<0.05$, CI: $[0.00, 0.07]$). Por lo tanto, la referencia interna parece ser el único parámetro en el proceso de toma de decisiones que se ve afectado por el orden de las tareas –una medida de la interferencia entre tareas concurrentes–.

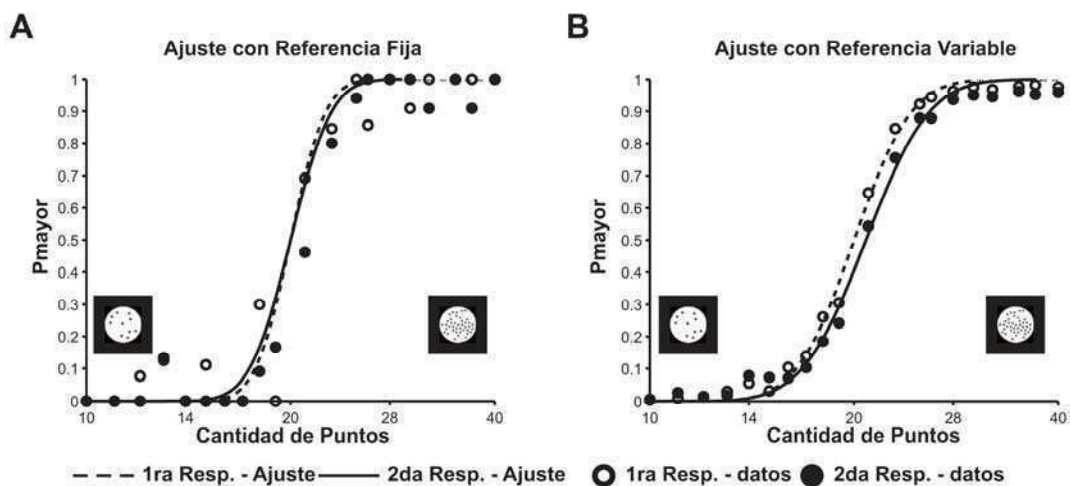


Figura 4.1.2 Interacciones entre las variables relativas a la interferencia (SOA) y a la decisión (distancia numérica – en escala logarítmica –). A) Probabilidad de responder “mayor” como función de la cantidad de puntos cuando la tarea visual fue respondida primero (círculos abiertos) y segunda (círculos llenos). Ambas curvas fueron ajustadas con una función sigmoidea (líneas punteadas y llenas respectivamente). El ancho de esta función, que es un estimativo de la Fracción de Weber Interna (w), no es afectada por el orden de las tareas. B) Sobre los mismos datos que en A) se realizó un ajuste con la referencia interna variable. El valor de esta referencia interna (50% de respuestas) es cercano a la referencia objetiva (20) cuando la tarea visual es respondida primero.

Habiendo hallado que las tasas de error son insensibles a la variación del SOA y que w es independiente del orden de las tareas, nos propusimos explorar cómo cambia w con el SOA. Enfocamos el análisis sobre la tarea numérica porque en nuestro experimento las distancias numéricas están muestreadas a mayor resolución que las distancias en frecuencia de los tonos, y también porque la referencia interna numérica probó ser más estable que la referencia auditiva – que mostró un poco de deriva durante el experimento –. Sin embargo, resultados similares fueron obtenidos cuando el análisis se realizó en las respuestas a la tarea auditiva (reportada en la Tabla 4.1.1).

Variable	Parámetro	Ensayos con la tarea visual respondida primera			Ensayos con la tarea auditiva respondida primera		
		(df)	F	p	(df)	F	p
RT (tarea visual)	SOA	2	0.05	p>0.05	2	15.26	p<0.001
RT (tarea visual)	DIST	1	4.66	p<0.05	1	11.49	p<0.01
RT (tarea visual)	SOA*DIST	2	0.00	p>0.05	2	0.06	p>0.05
Tasa de errores(tarea visual)	SOA	2	0.63	p>0.05	2	0.60	p>0.05
Tasa de errores(tarea visual)	DIST	1	150.93	p<0.0001	1	116.57	p<0.0001
Tasa de errores(tarea visual)	SOA*DIST	2	2.59	p>0.05	2	2.80	p>0.05
RT (tarea auditiva)	SOA	2	0.04	p>0.05	2	16.44	p<0.001
RT (tarea auditiva)	DIST	2	3.15	p>0.05	2	2.80	p>0.05
RT (tarea auditiva)	SOA*DIST	4	1.47	p>0.05	4	0.98	p>0.05
Tasa de errores(tarea auditiva)	SOA	2	0.22	p>0.05	2	1.27	p>0.05
Tasa de errores(tarea auditiva)	DIST	2	77.87	p<0.0001	2	36.89	p<0.0001
Tasa de errores(tarea auditiva)	SOA*DIST	4	1.11	p>0.05	4	0.24	p>0.05

Tabla 4.1.1: Efectos de SOA y distancia en los RTs y las tasas de error

En primer lugar analizamos la dependencia funcional de las tasas de error con la distancia, para diferentes valores de SOA (Figura 4.1.3A). Para proveer una comparación cuantitativa para los diferentes valores de SOA, hemos estimado w y z usando la ecuación 4.1.4 para cada individuo y cada valor de SOA en los ensayos en los que la tarea visual fue respondida segunda. Sometimos estos datos a una ANOVA y, en correspondencia con la manipulación del orden de la tarea, no hemos observado ningún efecto sobre w de la variación de SOA ($df=6$, $F=0.08$, $p>0.9$) indicando que las curvas de probabilidad de error en función de la distancia no están afectadas por la interferencia (Figure 4.1.3B). Sin embargo, obtuvimos un cambio monotónico en la referencia al aumentar el SOA, cuando la tarea visual es resuelta segunda (Figure 4.1.3C). Estudios previos en estimación de las cantidades han reportado una tendencia a subestimar el valor real (Indow y Ida, 1977; Krueger, 1982), sin embargo esta tendencia puede ser revertida con una calibración apropiada (Izard y Dehaene, 2008). En este estudio hemos calibrado a los participantes presentándoles el valor de referencia antes del comienzo de cada bloque (con el mismo esquema visual que los estímulos usados durante el experimento) y hemos observado que la referencia subjetiva se mantiene cercana a la referencia objetiva. La inesperada observación de un incremento en la referencia subjetiva cuando la tarea visual es presentada segunda y el incremento monotónico con el SOA, sugiere un pequeño alejamiento del modelo secuencial puramente pasivo y puede involucrar el rol de la atención en la percepción de las cantidades. Puede resultar interesante explorar este aspecto más en detalle en futuras investigaciones.

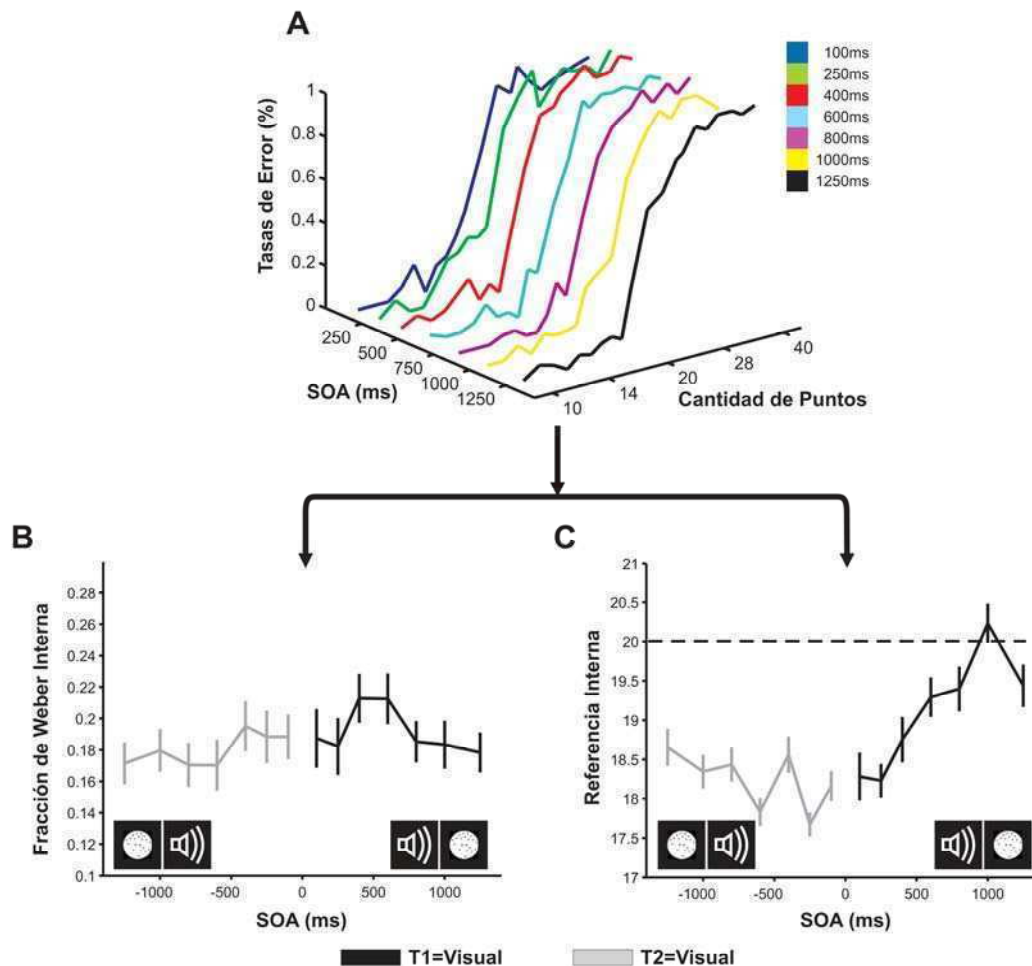


Figura 4.1.3 Interacciones entre las variables relativas a la interferencia (SOA) y a la decisión (distancia numérica –en escala logarítmica–). A) La dependencia de las tasas de error como función de la cantidad de puntos para los distintos valores de SOA, representados en distintos colores –para la tarea visual, cuando esta fue respondida segunda–. Las tasas de error y su distribución no se vieron afectadas por el SOA. (referencia de colores de SOA: Azul = 100 ms, Verde = 250 ms, Rojo = 400 ms, Celeste = 600 ms, Magenta = 800 ms, Amarillo = 1000 ms, y Negro = 1250 ms). B,C) La fracción de Weber interna no es afectada por el SOA (B), mientras que la referencia interna para valores de SOA largos –cuando la tarea visual fue presentada segunda– (C). Ambos parámetros fueron estimados en el mismo ajuste (ecuación 4.1.4). Las líneas negras corresponden a los ensayos donde la tarea visual fue presentada segunda, y las líneas grises corresponden a cuando fue presentada primera.

Conclusiones

En resumen, hemos estudiado las dependencias funcionales de los RTs y las tasas de error en un experimento de tarea doble donde cada tarea involucra una decisión no simbólica. Para los RTs hemos replicado los aspectos principales observados en los estudios previos de tareas dobles, mostrando un retraso importante en la ejecución de la segunda tarea, donde el RT2 disminuye cuando el SOA aumenta, y no se observa un efecto sobre la primera tarea. Por el contrario, no hemos observado efectos significativos sobre el número total de errores o sobre la distribución de los errores como función de la distancia numérica entre el valor presentado y la referencia.

Estos resultados confirman las predicciones del modelo de cuello de botella clásico, respaldando las hipótesis sobre las cuales se basa una cantidad importante de trabajos de comportamiento, fisiología y modelado.

4.2. PRP y aprendizaje¹²: Extendiendo el modelo en el tiempo.

Métodos específicos

Participantes

Para el presente estudio fueron evaluados 4 participantes (1 hombre / 3 mujeres, edades entre 18 y 24, todos anglo parlantes nativos).

Procedimiento general

Los participantes realizaron un total de 16 sesiones experimentales de alrededor de 40 minutos cada una. El experimento fue dividido en tres fases.

En la *primera fase* los participantes realizaron 6 sesiones en diferentes días. Cada sesión comprendía 9 bloques independientes: 3 bloques de una tarea de comparación numérica (80 ensayos por bloque, los números fueron presentados en dígitos arábigos o palabras), 3 bloques de una tarea de decisión auditiva (40 ensayos por bloque), y 3 bloques de una tarea doble (120 ensayos por bloque, los números fueron reasentados en dígitos arábigos o palabras); por lo que cada sesión incluyó un total de 720 ensayos. Los bloques fueron presentados al azar.

En la *segunda fase* (día 7) los participantes realizaron 7 bloques (80 ensayos cada uno) en los cuales debían nombrar un número presentado en una nueva notación (una cadena de consonantes). Los participantes recibieron un refuerzo en cada ensayo. Nos referiremos a esta tarea como la “tarea de nombramiento”.

La *tercera fase* involucró 9 sesiones también en diferentes días. Cada sesión de la fase 3 fue idéntica a las sesiones de la fase 1, a excepción del agregado de la notación de cadenas de consonantes en la tarea numérica cuando fue presentada sola y en el esquema de tarea doble, además de un bloque de la “tarea de nombramiento” al principio de cada sesión.

Los ensayos con la notación nueva no fueron incluidos en ningún análisis de la presente tesis.

Estímulo y tareas

- 1) En la tarea de decisión auditiva los participantes escuchaban un tono por 200 ms (de 440 Hz o 880 Hz) y debían responder con el dedo índice y mayor de la mano derecha, indicando cuándo el tono correspondía al de alta o baja frecuencia respectivamente. Los participantes debían responder antes de los 2.5 segundos.
- 2) En la tarea de comparación numérica se presentó un número entre el 1 y el 9 (excluyendo el 5) en el centro de la pantalla, y los participantes debían responder cuándo el número era mayor o menor que el 5 con el dedo índice o mayor de la mano derecha respectivamente. Los números fueron presentados al azar por 250 ms. El porcentaje de ensayos correctos fue presentado como refuerzo al final de cada bloque.
- 3) En la tarea doble los participantes debían realizar la tarea auditiva y numérica en un diseño tipo PRP clásico. En cada ensayo el tono fue presentado primero,

¹² En esta sección se utilizará aprendizaje y entrenamiento como sinónimos, dado que se trata de un aprendizaje inconsciente que ocurre por simple repetición de la tarea.

seguido del estímulo visual separados por un tiempo (SOA) tomado al azar entre 4 posibles valores: {100, 250, 1100, 1250} ms. Los participantes debían responder con la mano izquierda a la tarea auditiva y con la derecha a la visual.

Los participantes tenían 3500 ms para responder a ambas tareas. Fueron explícitamente prevenidos de no agrupar las tareas (es decir esperar a que el estímulo visual sea presentado para responder a ambas tareas simultáneamente) y se les solicitó que respondieran correcta y rápidamente a ambas tareas.

Análisis de datos

Aspectos generales

En la tarea doble un ensayo fue considerado correcto si ambas respuestas (para la tarea 1 y la tarea 2) eran correctas. Para el análisis de RTs se excluyeron ensayos con los siguientes criterios: Los RT de tarea única (visual o auditiva) debían ser menores a 1500 ms mientras para la tarea doble los umbrales fueron de 1500 ms para la tarea 1 (T1) y de 2000 ms para la tarea 2 (T2). A su vez también fueron descartados los ensayos en los que el orden de las tareas no fue respetado en la respuesta. En total fueron excluidos menos de 5% de los ensayos.

El porcentaje de respuestas correctas (P_c) fue muy alto a lo largo de todas las sesiones e independiente del SOA (ver Figura 4.2.2.G,H; $p = 0.1016$ ($df=3$, $F=2.08$) ANOVA con P_c como variable independiente y {SOA, tarea, aprendizaje} como variables dependientes, y los sujetos como variable aleatoria).

Para estudiar el efecto del aprendizaje (Figura 4.2.2) hemos generado una serie temporal concatenando, por sujeto, los ensayos de todas las sesiones. Luego hemos realizado un promedio, para cada sujeto y condición, con una ventana móvil de 20 ensayos para las Figuras 4.2.1.CDEGH, y de 40 ensayos para la Figuras 4.2.2.F. La serie temporal resultante fue ajustada por una función exponencial para obtener los tiempos característicos del aprendizaje (Figuras 4.2.2.CDEF).

Especificaciones, elección de modelos y parámetros para el análisis de distribuciones de RT

El análisis del modelo de una barrera se basó únicamente en los ensayos correctos, mientras que el análisis con los modelos de difusión EZ (Wagenmakers, van der Maas, *et al.*, 2008; Wagenmakers, *et al.*, 2007) y de Ratcliff (*RDM*) (Ratcliff, 1978; Ratcliff y Rouder, 1998; Ratcliff y Tuerlinckx, 2002; Vandekerckhove y Tuerlinckx, 2007) incluyeron también los ensayos incorrectos. Todos los valores de los parámetros reportados fueron estimados ajustando el modelo en cada sujeto, condición (notación y SOA) e intervalos de aprendizaje, y luego promediados. Debido a que este estudio sólo contiene cuatro sujetos y eso no permite hacer estadística robusta sobre los parámetros, muchos de los *tests* estadísticos con regresiones fueron realizados sobre los datos promedio. En las Figuras 4.2.3-5 y en la Figura Suplementaria 4.2.2 se presentan los resultados como (media \pm sem) de los parámetros estimados por los diferentes modelos. En la Tabla Suplementaria 4.2.1, se reportan los valores ajustados por el modelo y sus pendientes surgidas de la regresión lineal para cada sujeto.

El modelo de una barrera está basado en una caminata al azar con un empuje descripto por el siguiente proceso de Markov (ver Figura 4.2.1.A):

$$d[\text{evidencia}] = \nu \cdot d[\text{tiempo}] + \sigma \cdot d[\text{variable aleatoria}]$$

Donde v es el *drift rate* y σ es el desvío estándar del ruido gaussiano con media cero. La distribución resultante para los tiempos del primer choque con la barrera, de valor fijo a , pueden ser calculada analíticamente y se la conoce como distribución Wald (o Gaussiana Inversa):

$$pdf(t) = \frac{a}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi} \cdot t^3} \cdot \exp\left(-\frac{(a - v \cdot t)^2}{2 \cdot \sigma^2 \cdot t}\right)$$

Los tiempos de respuesta son entonces modelados por esta distribución más un retraso fijo – donde por fijo entendemos que no varía de ensayo en ensayo – *NDT* (*non-decision time*, en otras publicaciones puede encontrarse como T_{ER} o T_0), que da cuenta de las contribuciones a los RTs no relacionadas con la decisión como la ejecución motora de la respuesta.

La forma analítica de la distribución de RTs resultante es conocida como distribución Wald desplazada (*shifted Wald*):

$$pdf(t) = \frac{a}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi} \cdot (t - NDT)^3} \cdot \exp\left(-\frac{(a - v \cdot (t - NDT))^2}{2 \cdot \sigma^2 \cdot (t - NDT)}\right)$$

Se fijó el umbral (en un valor arbitrario igual a 1) y el v para todos los sujetos, condiciones y tareas (tonos o números). El v elegido fue el mínimo global para todos los ajustes realizados. Los resultados reportados en esta tesis probaron ser muy estables ante cambios del valor de v .

Los ajustes estuvieron basados en la Distancia Cuadrática Media (*Mean Square Distance, MSD*) de las distribuciones acumulativas porque este procedimiento resultó ser el más estable. Para ajustar los parámetros del modelo se utilizó el *Método Nelder-Mead Simplex* (Lagarias, et al., 1998), implementado en Matlab con la función *fminsearch()*. Este algoritmo es el mismo que el utilizado por el paquete DMAT (Vandekerckhove y Tuerlinckx, 2007, 2008) (<http://ppw.kuleuven.be/okp/software/dmat/>) utilizado para ajustar el RDM.

El modelo de difusión EZ es la solución analítica de la versión más simple del modelo de dos barreras. Wagenmakers y sus colaboradores mostraron que usando una reducción del RDM, donde la varianza de los parámetros ensayo a ensayo era nula y no se consideraba el sesgo inicial, se podía obtener una transformación de las observaciones experimentales: RT medio (MRT), la varianza de RT (VRT) y el porcentaje de respuestas correctas (Pc) a los parámetros del modelo (en Wagenmakers et al. (2007) se detalla el razonamiento y las ecuaciones luego de esta reducción). Bajo esas hipótesis, el modelo EZ sólo considera 3 parámetros libres (Figura 4.2.1.B): el *drift rate* (v), el tiempo de no-decisión (*NDT*) y la separación entre barreras (a). Estos parámetros son calculados analíticamente a partir de MRT, VRT y Pc. Todos los parámetros del modelo EZ (Wagenmakers, et al., 2007) fueron calculados usando la función *ezdiff()* del paquete DMAT.

En el modelo de difusión de Ratcliff (RDM) los parámetros fueron obtenidos utilizando el paquete DMAT. Para verificar si los cambios observados en la varianza del RT con el aprendizaje se debían únicamente al proceso de decisión, agregamos un parámetro adicional: la varianza entre ensayos en el tiempo de no-decisión (st) (Figura 4.2.1.C). También se incluyó un sesgo inicial entre las dos barreras para verificar la hipótesis del EZ. Este modelo, aún una versión reducida del RDM completo, tiene

cinco parámetros: $\{a, NDT, \nu, z, st\}$, y todavía debe ser ajustado para cada participante, condición e intervalo de aprendizaje. Como los ajustes multi-dimensionales son más sensibles a las condiciones iniciales, utilizamos un procedimiento iterativo, tomando los resultados del modelo EZ como condición inicial de los parámetros compartidos con el RDM y $a/2$ como valor inicial para z (sin sesgo).

Resultados

¿Qué aspectos del desempeño en un protocolo de dos tareas cambia con el entrenamiento?

Comenzamos por agrupar las respuestas a lo largo de todas las sesiones de entrenamiento y observamos el efecto de PRP clásico: RT2 decrece con el SOA, con una pendiente cercana a -1 para valores de SOA pequeños ($(RT2_{SOA=100} - RT2_{SOA=250}) / (250 - 100)$, promedio sobre todos los sujetos = -0.96 ± 0.12), consistente con el procesamiento serial –durante el procesamiento de T1, cada aceleración en la presentación de T2 se traduce en un retraso igual en RT2–. A su vez, RT2 es constante para valores de SOA largos ($(RT2_{SOA=1100} - RT2_{SOA=1250}) / (1250 - 1100)$), promedio sobre todos los sujetos = 0.00 ± 0.01). Observamos también un pequeño pero significativo enlentecimiento de RT1 para SOA pequeños (Figura 4.2.1A y 4.2.2A) (Sigman y Dehaene, 2006), que no es predicho por el modelo secuencial clásico. Más adelante en el texto volveremos sobre esta observación en más detalle.

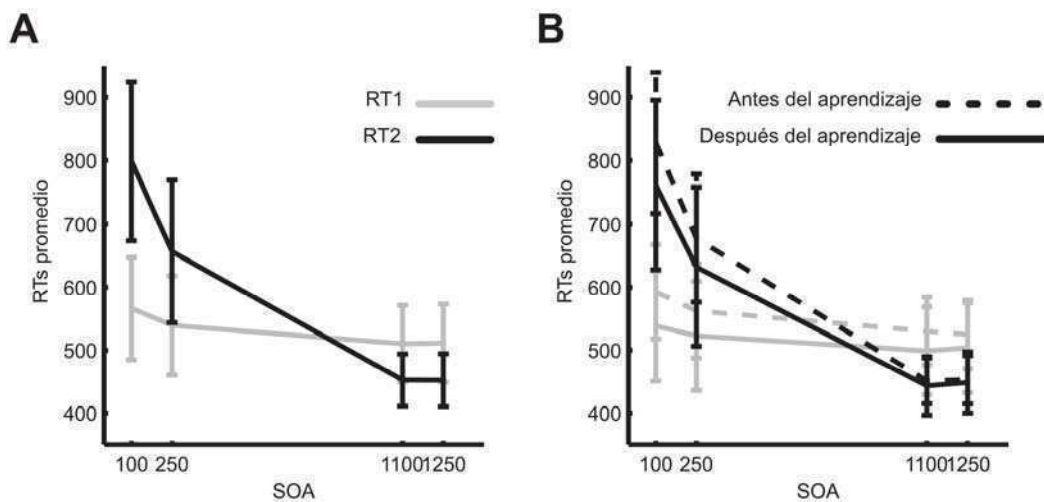


Figura 4.2.1 A) Efecto principal de PRP: El RT2 promedio (línea negra) decrece con el SOA con pendiente -1 para SOAs cortos. El RT1 promedio (línea gris) permanece prácticamente constante. B) El RT promedio como función del SOA a lo largo del entrenamiento. Los ensayos fueron agrupados en dos categorías: antes del entrenamiento (el primer 20% de los ensayos a lo largo del entrenamiento) y después del entrenamiento (el último 20% de los ensayos a lo largo del entrenamiento).

A partir de aquí nos concentramos en los aspectos del efecto de PRP que cambian con el entrenamiento. En primer lugar se observó una reducción del RT con el aprendizaje, tanto en RT1 como en RT2 para todos los valores de SOA (Figura 4.2.1B y Tabla 4.2.1). El efecto fue pequeño, entre los 10 y los 70 ms dependiendo de la condición, y marginalmente significativo (Tabla 4.2.1). La Figura 4.2.2 muestra que la mayor parte del efecto del aprendizaje ocurre en los primeros ensayos, como sugieren los modelos de aprendizaje exponencial (Heathcote, *et al.*, 2000). Para cuantificar esta observación, ajustamos un modelo exponencial a la curva de RT vs aprendizaje: $RT = A + B \cdot \exp(-N/\tau)$, donde A es el valor asintótico, B es la amplitud del

aprendizaje y τ es la escala temporal característica del aprendizaje. Este análisis confirma que el aprendizaje ocurre rápidamente, en aproximadamente 100 ensayos ($\tau_{RT1} = 106$ ensayos CI: [98, 117] ensayos; $\tau_{RT2} = 58$ ensayos CI: [53, 65] ensayos), indicando que la mayor parte del efecto de aprendizaje en los RTs promedio es completado en la primer sesión (Figura 4.2.2A,B). La amplitud del efecto es más pronunciada para T2 que para T1 ($B_{RT1} = 144$ ms CI: [136, 151] ms; $B_{RT2}(\text{SOAs cortos}) = 275$ ms; CI: [259, 290] ms; $B_{RT2}(\text{SOAs largos}) = 231$ ms; CI: [119, 143] ms).

El modelo de cuello de botella predice que RT2 debe decrecer con el SOA en el régimen de interferencia, con una pendiente igual a -1, y luego permanecer constante, creando un “codo” en la curva de RT2 suavizado por la variabilidad ensayo a ensayo. Para cuantificar un corrimiento en la ubicación de este codo medimos la pendiente del cambio en RT2 entre dos SOAs consecutivos (Tabla 4.2.1). Una pendiente igual a 0 (-1) implica que ambos valores de SOA caen completamente fuera (dentro) del régimen de interferencia, mientras que los valores intermedios proveen una estimativo continuo del rango de SOAs crítico.

	X =	RT1		RT2	
		Tamaño del efecto	Significancia	Tamaño del efecto	Significancia
Efecto del aprendizaje	X(SOA=100)	57 ms	F=3.39; p<0.005	72 ms	F=2.87; p<0.01
	X(SOA=250)	40 ms	F=2.32; p<0.05	45 ms	F=1.71; p>0.05
	X(SOA=1100)	33 ms	F=2.20; p<0.05	9 ms	F=1.12; p>0.05
	X(SOA=1250)	21 ms	F=1.56; p>0.05	5 ms	F=0.87; p>0.05
Efecto de SOA	{X(SOA=100), X(SOA=250)}	- 0.17 (- 26 ms)	t=7.48; p<0.0001	- 0.93 (- 139 ms)	t=30.24; p<0.0001
	{X(SOA=250), X(SOA=1100)}	- 0.03 (- 28 ms)	t=10.10; p<0.0001	- 0.24 (- 202 ms)	t=22.51; p<0.0001
	{X(SOA=1100), X(SOA=1250)}	0.01 (1 ms)	t=0.37; p>0.05	0.00 (0 ms)	t=0.09; p>0.05
Interacción entre aprendizaje y SOA	X(SOA=100) - X(SOA=250)	- 0.11 (- 17 ms)	F=2.55; p<0.05	- 0.18 (- 27 ms)	F=4.12; p<0.001
	X(SOA=250) - X(SOA=1100)	- 0.01 (- 8 ms)	F=1.59; p>0.05	- 0.04 (- 36 ms)	F=1.75; p>0.05
	X(SOA=1100) - X(SOA=1250)	- 0.08 (- 12 ms)	F=1.49; p>0.05	- 0.03 (- 4 ms)	F=0.59; p>0.05

Tabla 4.2.1: Efecto del aprendizaje: Análisis de regresión lineal sobre las variables principales (RT1, RT2 para los diferentes valores de SOA) con el aprendizaje. Efecto de SOA: Comparaciones vía t-test para los diferentes valores de SOA, colapsando entre todas las sesiones experimentales. Interacción entre el aprendizaje y el SOA: Análisis de regresión lineal sobre las diferencias entre las condiciones detalladas en la tabla y el aprendizaje. Los tamaños de los efectos del aprendizaje y de la interacción del aprendizaje y el SOA fueron calculados comparando los RTs de las primeras y las últimas cinco sesiones de entrenamiento. (*) El umbral de significancia utilizado es $\alpha = 0.05$.

La pendiente de la función de PRP (considerada como el cambio de RT entre los valores SOA más cortos, 100 y 250 ms) muestra un efecto moderado de aprendizaje (Figura 4.2.2B,C y Tabla 4.2.1; valor medio para la pendiente en las primeras (últimas) cinco sesiones = -1.01 ± 0.06 (-0.83 ± 0.11)). La diferencia en RT2 a valores de SOA de 100 y 250 ms permanece significativa inclusive en las últimas sesiones del aprendizaje (124 ± 18 ms). Estos resultados indican un cambio progresivo del régimen de interferencia hacia valores de SOA más cortos, pero sugiere que, al menos con este volumen de entrenamiento (quince sesiones de una hora), la sucesión estrictamente serial de los procesos centrales de ambas tareas permanece vigente.

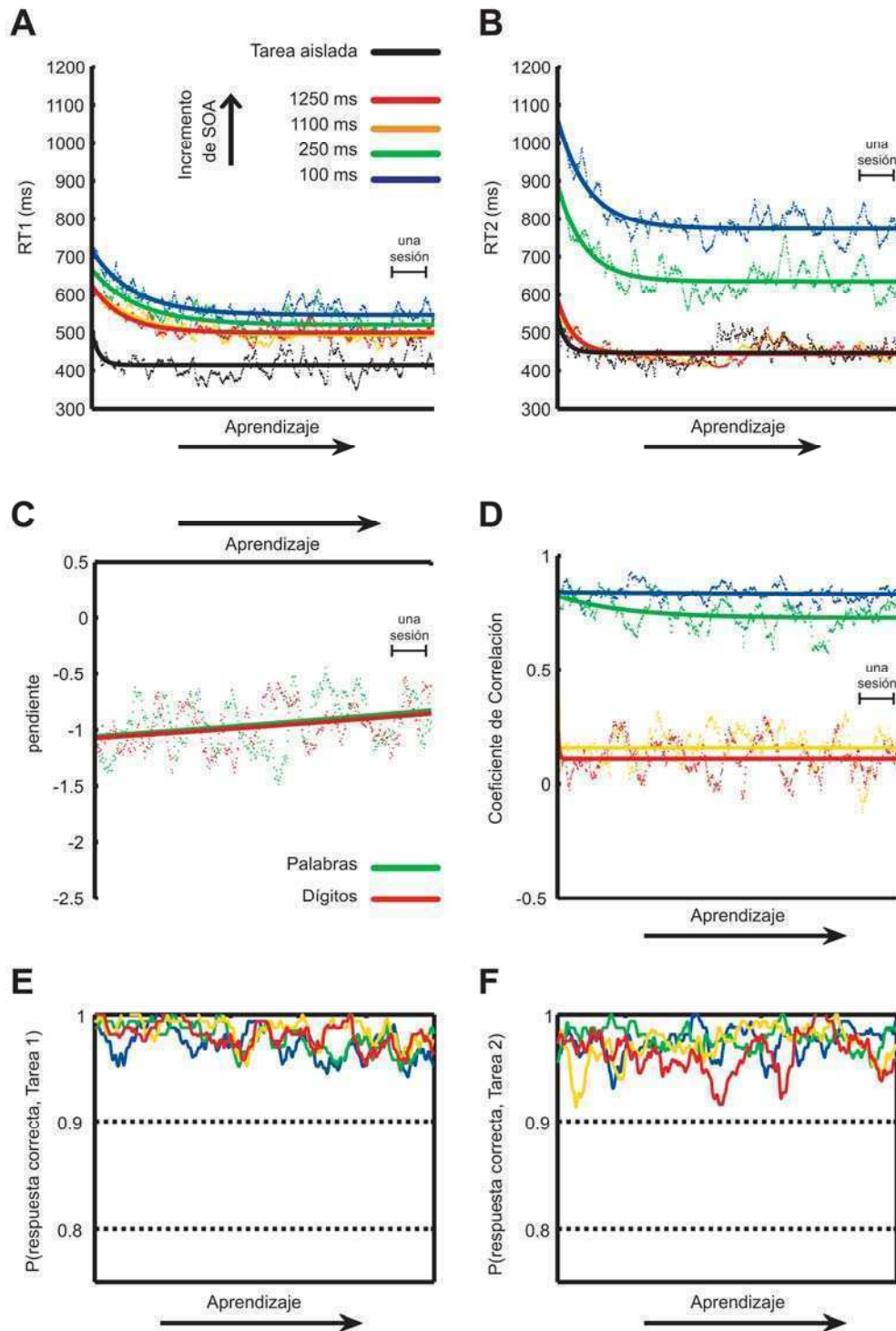


Figura 4.2.2 A, B) RT1 (C) y RT2 (D) para distintos valores de SOA y RT de la tarea aislada en función del aprendizaje. Observamos un efecto de SOA en RT1 (comparando la línea azul y la roja) que decrece con el aprendizaje. La mayor parte del efecto de aprendizaje en los RTs promedio ocurre durante las primeras sesiones de entrenamiento. C) El efecto PRP, definido como la pendiente durante los primeros valores de SOA: $(RT2(SOA=100\text{ ms}) - RT2(SOA=250\text{ ms}))/150\text{ ms}$ muestra un pequeño pero progresivo cambio con el entrenamiento. D) La correlación entre RT1 y RT2 presenta cambios con el aprendizaje sólo para el SOA intermedio (línea verde). E, F) Probabilidad de responder correctamente (P_c) para la tarea 1 (E) y para la tarea 2 (F), y para diferentes valores de SOA a lo largo del aprendizaje. (C,D,E,F): Líneas punteadas: Datos experimentales, Líneas sólidas: Mejor ajuste con una función exponencial ($RT(n) = A + B \cdot \exp(-n/w)$)

Otra fuente de evidencia de la persistencia del cuello de botella serial proviene del análisis de las correlaciones entre RT1 y RT2 ($C(RT1,RT2)$). El modelo serial predice que estas correlaciones deben ser altas en el régimen de interferencia, donde cada milisegundo extra que toma T1 retrasa en la misma cantidad a T2. Medimos $C(RT1,RT2)$ como función del SOA a lo largo del aprendizaje (Figura 4.2.2D). Para los valores de SOA pequeños (100 ms), las correlaciones son muy fuertes ($C(RT1,RT2) = (0.85 \pm 0.04)$) y permanece esencialmente invariante durante el curso del entrenamiento (regresión lineal de las correlaciones versus los ensayos: $b = -7 \times 10^{-6}$ [-0.3×10^{-6} , -15×10^{-6}], $F=3.56$, $p= 0.0596$). Para un SOA intermedio (250 ms), las correlaciones son también fuertes ($C(RT1,RT2) = (0.76 \pm 0.07)$) pero decrecen con el entrenamiento (regresión lineal de las correlaciones versus los ensayos: $b = -6 \times 10^{-4}$ [-4×10^{-4} , -7×10^{-4}], $F=72.09$, $p < 10^{-15}$). Lejos del régimen de interferencia, las correlaciones son débiles a lo largo de todo el entrenamiento ($C(RT1,RT2) = (0.14 \pm 0.04)$, promedio entre SOA = 1100 ms y 1250 ms).

Es importante notar que tanto el cambio en la pendiente de la función de PRP como de $C(RT1,RT2)$ para valores de SOA cortos varían con escalas mayores a los 100 ensayos característicos de los RTs promedios. Este hallazgo indica que el aprendizaje puede resultar en cambios en la arquitectura de la tarea que no son visibles en un análisis simple de RTs promedio. Esta observación motiva la descomposición de los RTs usando modelos de difusión.

Finalmente exploramos si el efecto de RT1 con el SOA, que implica un alejamiento importante del modelo de cuello de botella pasivo, cambia con el aprendizaje. Como se puede observar en la Figura 4.2.2C, durante las primeras sesiones, RT1 es en promedio 100 ms más lento para los valores de SOA cortos (diferencia entre las curvas azul/verde y las curvas rojo/amarillo). En la última sesión sin embargo, esta diferencia es virtualmente nula. La reducción del efecto de SOA sobre el RT1 fue acompañada con una disminución de RT1 (Tabla 4.2.1).

Resumiendo, hemos observado los siguientes efectos del entrenamiento sobre el desempeño en dos tareas: 1) Una reducción en los RTs promedio en ambas tareas; 2) Un desplazamiento en la extensión del régimen de interferencia (“la ubicación del codo”) hacia valores de SOA más cortos; 3) Una reducción, o desaparición, del efecto de SOA sobre RT1; y 4) Una persistencia del efecto de PRP para valores de SOA menores a 200 ms, inclusive luego de un entrenamiento intensivo, como es evidente a partir de la persistencia de los valores de $C(RT1,RT2)$ y del valor cercano a -1 de la pendiente de RT2 para SOAs cortos.

Cambios en la arquitectura de una tarea y contribuciones al RT durante el aprendizaje.

Como se describió en la sección anterior, hemos observado una pequeña reducción en el RT con el aprendizaje, mayormente en las primeras sesiones. La pregunta que sigue fue cuáles son las contribuciones a las diferentes etapas de la resolución de la tarea que varían significativamente con el entrenamiento, más allá de ese comportamiento inicial. En la Figura 4.2.3 se puede observar que las distribuciones de RT, para la tarea numérica, varían significativamente antes y después del entrenamiento para todos los sujetos. Para proveer una medida cuantitativa de los cambios en las distribuciones y en las distintas contribuciones al RT, analizamos la evolución de los diferentes parámetros de los modelos a través del

aprendizaje. Este análisis se realizó independientemente para la tarea numérica con notación de dígitos arábigos y palabras¹³.

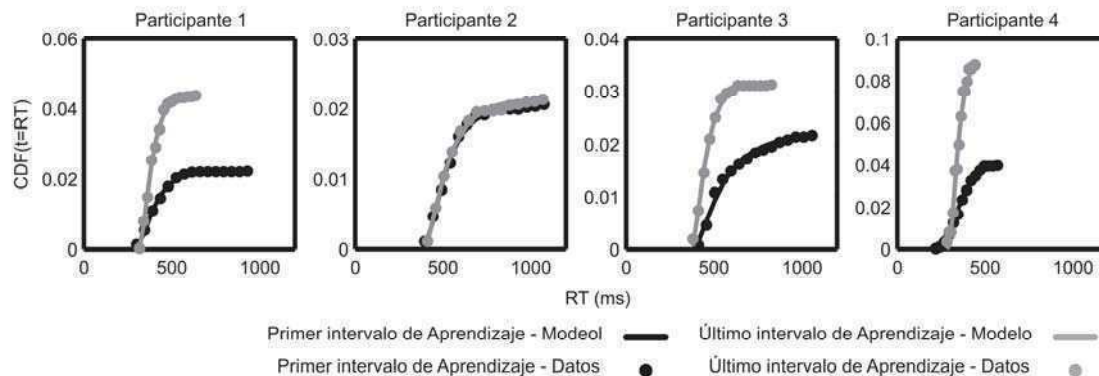


Figura 4.2.3 Distribuciones de RT de la comparación numérica (palabra) aislada antes (líneas negras) y después (líneas grises) del aprendizaje para los cuatro sujetos individuales.

El modelo de una barrera (ver Métodos específicos y Figura 1.2.3A) asume un tiempo fijo de inicio, denominado *NDT*, seguido por una caminata al azar forzada hasta un umbral –barrera– *a* con una pendiente (*drift rate*), y una constante de difusión. El *NDT* reúne todas las contribuciones no estocásticas al RT, mientras que el tiempo de decisión (*DT*) es la principal contribución estocástica al RT. El *DT* está determinado por la cociente $a/$. Como el umbral es fijo, un incremento en se traduce directamente en una reducción de *DT*. En la Figura 4.2.4 (panel arriba–izquierda) puede observarse un incremento de la pendiente con el aprendizaje ($p < 0.002$ para palabras y $p < 0.015$ para dígitos, ver Tabla 4.2.2 para más detalles de la regresión). El *NDT* mientras tanto muestra un incremento muy moderado –y no significativo– con el aprendizaje (Figura 4.2.3.B columna izquierda, segunda fila; $p > 0.18$ para palabras y $p > 0.46$ para dígitos). Esto redundo en que la fracción de RT dedicada a la decisión (DT/RT) decrece durante el entrenamiento (Regresión sobre las curvas medias para ambas notaciones: Dígitos: Tamaño del efecto (media \pm sem) = (-0.056 ± 0.005) ; $F = 13.01$; $p < 0.01$; y palabras: Tamaño del efecto (media \pm sem) = (-0.056 ± 0.005) ; $F = 22.49$; $p < 0.0005$).

¹³ Es interesante notar que la Tarea auditiva – en la condición de tarea aislada – no mostró virtualmente ningún efecto del aprendizaje (ver Figura 4.2.4A). Esta tarea era respondida de forma muy rápida y los RTs alcanzaron rápidamente un nivel de saturación. Otra diferencia es que la Tarea Visual involucró distintas notaciones (palabras y dígitos) y una variedad de estímulos (1 a 9) mientras que la tarea auditiva siempre consistió en los mismos dos tonos.

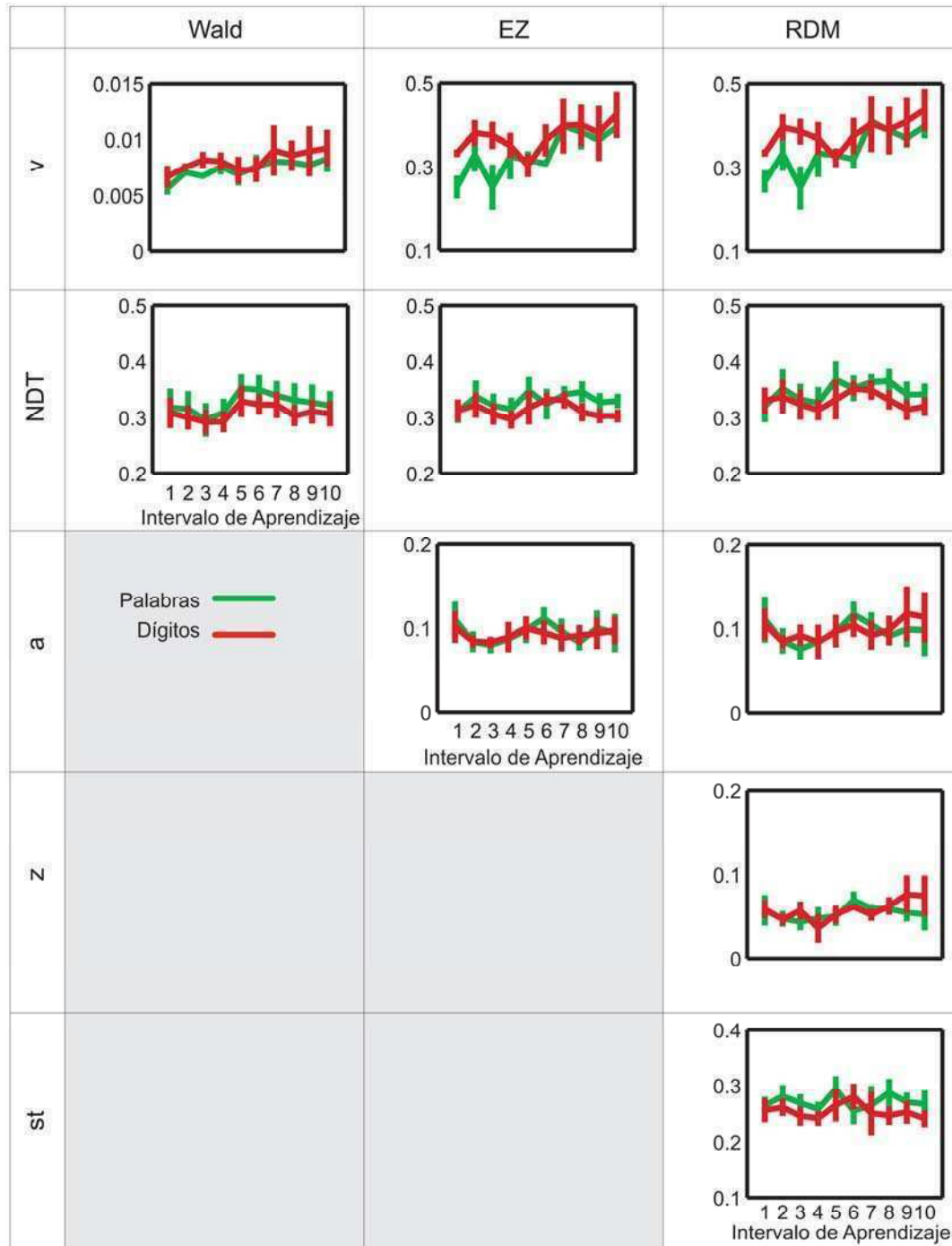


Figura 4.2.4 Evolución de los valores estimados para los parámetros de los tres modelos: de una barrera (Wald), y de dos barreras (EZ y RDM), para las distribuciones de RTs de la comparación numérica aislada en ambas notaciones. Observamos, consistentemente, un incremento en v con el aprendizaje. Los ensayos fueron agrupados en 10 intervalos a lo largo del aprendizaje.

El modelo EZ (ver Métodos específicos y Figura 1.2.3B) asume dos barreras simétricas al costo de incluir otro parámetro adicional, la distancia entre dichas barreras, denominada a . Se observa la misma dependencia de los parámetros compartidos entre ambos modelos (v y NDT; Figura 4.2.4; segunda columna): Un incremento progresivo en a a través del entrenamiento significativo para palabras ($p < 0.0036$, ver Tabla 4.2.2) y marginalmente significativo para dígitos ($p < 0.066$, ver Tabla 4.2.2), mientras que NDT se mantiene constante a través del aprendizaje (ver

Tabla 4.2.2). La separación entre barreras (*a*) tampoco presentó cambios con el aprendizaje (ver Tabla 4.2.2).

		Wald		EZ		RDM	
Drift Rate (<i>v</i>)	Palabras	0.0002	F = 18.81; p < 0.005	0.0144	F = 16.59; p < 0.005	0.0141	F = 15.14; p < 0.005
	Dígitos	0.0002	F = 9.50; p < 0.05	0.0070	F = 4.52; p = 0.0663	0.0072	F = 5.62; p < 0.05
Tiempo de no-decisión (<i>NDT</i>)	Palabras	0.0026	F = 2.17; p = 0.179	0.0017	F = 1.49; p = 0.2576	0.0023	F = 1.69; p = 0.2293
	Dígitos	0.0010	F = 0.58; p = 0.467	-0.0006	F = 0.15; p = 0.7084	-0.0005	F = 0.12; p = 0.7391
Separación entre las barreras (<i>a</i>)	Palabras			0.0002	F = 0.02; p = 0.8933	0.0009	F = 0.37; p = 0.5588
	Dígitos			0.0004	F = 0.26; p = 0.6214	0.0022	F = 4.36; p = 0.0703
Sesgo inicial (<i>z</i>)	Palabras					0.0009	F = 1.09; p = 0.3279
	Dígitos					0.0027	F = 6.12; p < 0.05
Variabilidad de <i>NDT</i> (<i>st</i>)	Palabras					0.0002	F = 0.01; p = 0.9124
	Dígitos					-0.0009	F = 0.41; p = 0.5418

Tabla 4.2.2: Estadística sobre el análisis de regresión de los parámetros estimados con el aprendizaje, para la tarea numérica presentada aislada (en las dos Notaciones) y para los tres modelos. (*) El umbral de significancia utilizado es $\alpha = 0.05$.

El modelo RDM (ver Métodos específicos y Figura 1.2.3C) incorpora dos parámetros adicionales (Figura 4.2.4, tercera columna): La variabilidad del *NDT* –*st*– y el sesgo inicial hacia una de las dos barreras –*z*–, de modo que resulta en cinco parámetros libres: {*a*, *NDT*, *v*, *z*, *st*}. Un análisis de la evolución de los parámetros revela, como en los modelos más simples, un incremento en *v* (ver Tabla 4.2.2). Los demás parámetros –con la única excepción de *z* para dígitos– no muestran efectos de aprendizaje (Tabla 4.2.2). El valor medio de *z* para ambas notaciones no difirió significativamente de *a*/2 ($a(\text{media} \pm \text{sem}) = (0.10 \pm 0.03)$ y $z(\text{media} \pm \text{sem}) = (0.06 \pm 0.02)$), indicando que, como era esperado, ninguna de las respuestas tenía un sesgo *a priori*. El *st* por su parte, estuvo dentro de los rangos normales encontrados en estudios previos para otras tareas (0.26 ± 0.04) (Ratcliff, Gomez, *et al.*, 2004; Ratcliff y Smith, 2004; Ratcliff, Thapar, Gomez, *et al.*, 2004; Ratcliff, Thapar, y McKoon, 2004).

En resumen, un análisis de la distribución de RT mediante distintos modelos de difusión mostró que más allá de los cambios observados en el RT promedio, hay una reorganización de las contribuciones de las diferentes etapas de procesamiento de la tarea a la variabilidad de RT, revelando una transferencia de tiempo de decisión a etapas más automáticas. El patrón en los tres modelos fue consistente y reveló un aumento de *v* con el aprendizaje.

Relación entre el desempeño en un experimento de una y dos tareas: Desviaciones del modelo de cuello de botella pasivo.

El modelo de cuello de botella pasivo predice una relación muy específica entre el desempeño en una tarea aislada y la misma embebida en un experimento de dos tareas. En particular, predice que el RT de la tarea aislada (RT_{aislada}) y el RT1 deben ser iguales. En este experimento la tarea de discriminación de tonos (auditiva) fue presentada siempre como primera tarea, dentro del paradigma de dos tareas. Contrariamente a la predicción anterior, observamos que el RT1 promedio resultó significativamente mayor que el RT_{aislada} promedio (Figura 4.2.5A, t-test pareado comparando RT1 con RT_{aislada} : $p < 0.001$ para todos los valores de SOA). Esta diferencia, de aproximadamente 100 ms, es consistente con trabajos anteriores (Sigman y Dehaene, 2005).

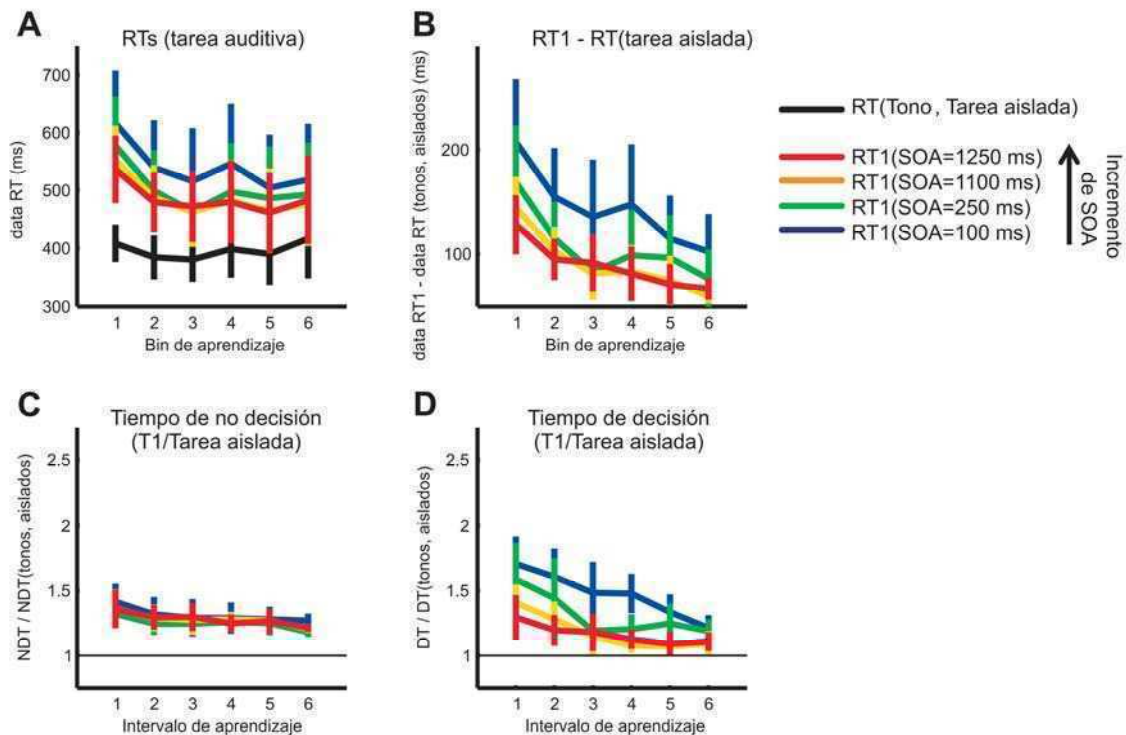


Figura 4.2.5 A) RT de la tarea auditiva, como tarea aislada y como primera tarea del paradigma de tarea doble para distintos SOA en función del aprendizaje. B) Diferencia entre RT1 y RT para la tarea auditiva aislada, en función del aprendizaje. C) Fracción de NDT entre la tarea auditiva como RT1 para distintos de SOA y cuando fue presentada aislada. Esta fracción es mayor a 1 por lo tanto los sujetos fueron siempre más lentos en la tarea 1 que la tarea aislada. El efecto no depende de SOA y decrece con el aprendizaje. D) Igual que (C) para DT. El efecto es mayor para SOAs cortos y decrece con el aprendizaje.

La diferencia entre RT1 y RT_{aislada} decrece con el aprendizaje ($p < 0.01$ para todos los valores de SOA), y se mantiene presente inclusive al final de las 15 sesiones ($p < 0.01$, para todos los valores de SOA; promedio entre todos los valores de SOA: antes del entrenamiento = 151 ms, después del entrenamiento = 88 ms, ver Figura 4.2.5A,B). A continuación investigamos qué etapas de la ejecución de la tarea dan cuenta de este incremento en RT y cuáles son los cambios que sufren con el entrenamiento.

Como se describió previamente, primero descompusimos los RTs en DT y NDT, usando el modelo de una barrera (Wald), y luego fuimos extendiendo estos resultados a los modelos de dos barreras (EZ y RDM). Derivamos las distribuciones de RT para cada valor de SOA de la tarea doble y para la tarea aislada, y para cada sesión, las cuales ajustamos con el modelo Wald para obtener los valores de los parámetros. Luego relativizamos cada valor obtenido para RT1 (DT o NDT) por el valor correspondiente de RT_{aislada} . En primer lugar observamos que todos los valores relativizados fueron mayores a 1, es decir que en cada caso tanto DT como NDT de RT1 fue mayor que su par de RT_{aislada} (Figure 4.2.5C,D).

La dependencia de estas dos contribuciones al RT con el SOA y el aprendizaje mostró patrones cualitativamente distintos: El incremento relativo de NDT fue independiente del SOA (Figura 4.2.5C y Tabla 4.2.3) y alcanzó una asíntota distinta de cero, es decir que la relación continúa siendo significativa inclusive luego del entrenamiento (Figura 4.2.5D). El efecto en DT sin embargo, resultó fuertemente dependiente de SOA y desapareció hacia el final del entrenamiento (Figura 4.2.5C y Tabla 4.2.3).

	Modelo	SOA	Aprendizaje	SOA x Aprendizaje
Tiempo de no-decisión (NDT)	Wald	F = 0.67; p = 0.4742	F = 0.18; p = 0.9660	F = 0.71; p = 0.6230
	EZ	F = 0.52; p = 0.5258	F = 0.54; p = 0.7460	F = 2.69; p = 0.0627
	RDM	F = 0.35; p = 0.5960	F = 0.20; p = 0.9559	F = 3.09; p < 0.05
Tiempo de decisión (DT)	Wald	F = 18.06; p < 0.05	F = 1.86; p = 0.1618	F = 3.18; p < 0.05
	EZ	F = 25.62; p < 0.05	F = 2.67; p = 0.0639	F = 9.62; p < 0.0005
	RDM	F = 30.37; p < 0.05	F = 4.39; p < 0.05	F = 7.03; p < 0.005

Tabla 4.2.3: Resultados de un ANOVA con DT o NDT como variables independientes y {SOA, Aprendizaje} como variables dependientes, y Sujetos como variable aleatoria. (*) El umbral de significancia utilizado es $\alpha = 0.05$.

Un análisis separado muestra que ambas contribuciones al RT decrecen con el aprendizaje pero el efecto es más pronunciado para la contribución de DT a valores de SOA pequeños (Figura 4.2.5C,D y Tabla 4.2.4).

Estos resultados son muy consistentes y reproducibles entre los tres modelos (Figura 4.2.6, y ver Tablas 4.2.3,4). En todos los casos observamos una fuerte dependencia de con el SOA, que da cuenta de la observación de la dependencia de DT con el SOA. Por el contrario, en los tres modelos NDT es insensible al SOA. Los parámetros adicionales de los modelos de dos barreras, $\{a, z, st\}$, no cambian con el SOA (Figura 4.2.6). La variabilidad del NDT (st) presenta un patrón muy similar al NDT, ya que ambos son insensibles al SOA y mayores para RT_{aislada}.

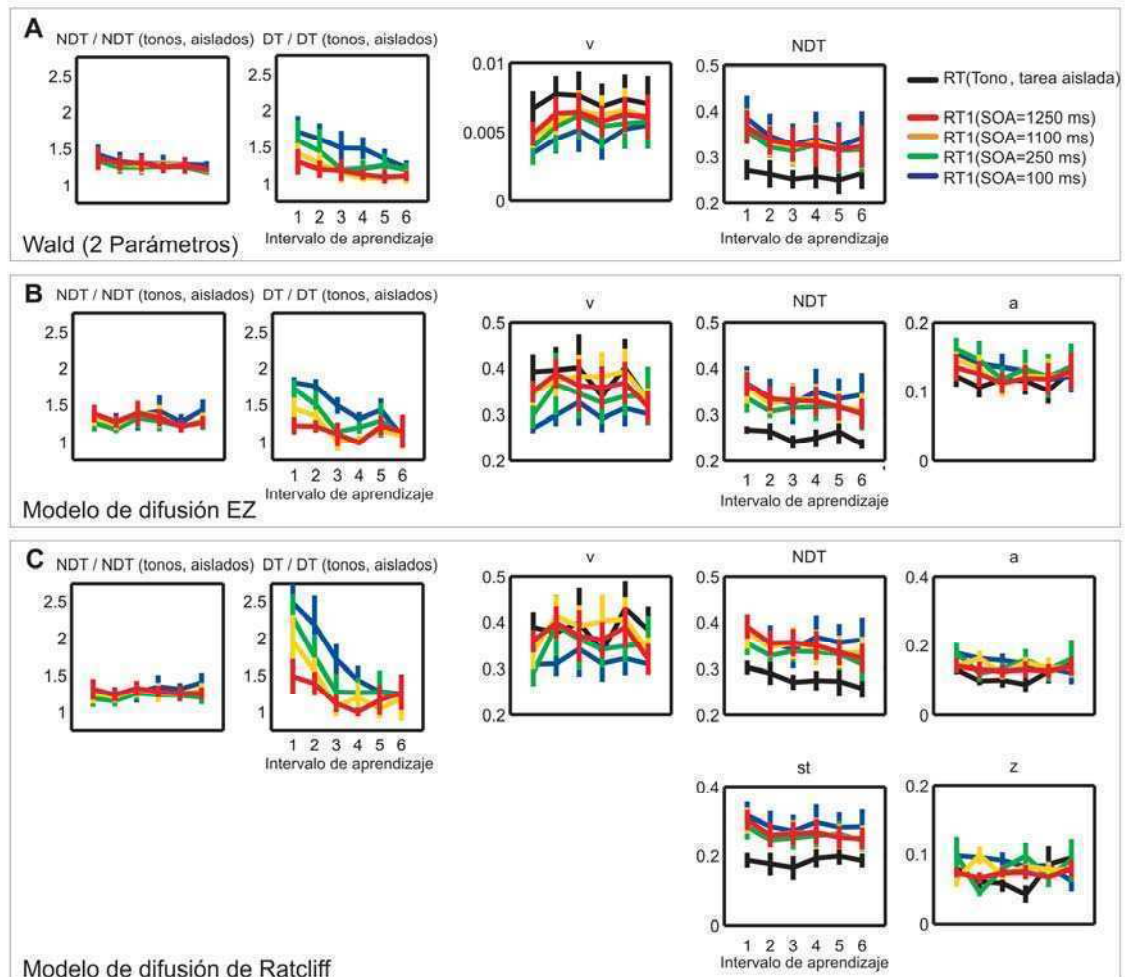


Figura 4.2.6 Paneles Izquierda: Fracciones entre las contribuciones de RT (NDT y DT) para la tarea auditiva como primer tarea en el paradigma de PRP (T1) –para los distintos SOAs– y como tarea aislada (T_{aislada}). Paneles Derecha: Parámetros estimados de los tres modelos Wald (A), EZ (B) y RDM(C). Líneas negras: T_{aislada} . Líneas de Azul, Verde, Amarillo y Rojo: T1 para los SOA= {100, 250, 1100, 1250} ms respectivamente.

		SOA = 100 ms		SOA = 1250 ms	
		Pendiente	Significancia	Pendiente	Significancia
Tiempo de no-decisión (NDT)	Wald	-0.002	F=0.03; p=0.8725	-0.019	F=3.15; p=0.1506
	EZ	0.009	F=0.27; p=0.6280	-0.022	F=2.31; p=0.2035
	RDM	0.028	F=10.89; p<0.05	-0.008	F=0.78; p=0.4265
Tiempo de decisión (DT)	Wald	-0.093	F=84.08; p<0.001	-0.039	F=37.75; p<0.005
	EZ	-0.136	F=28.59; p<0.01	-0.013	F=0.35; p=0.5875
	RDM	-0.262	F=51.59; p<0.005	-0.054	F=1.88; p=0.2425

Tabla 4.2.4: Estadística sobre el análisis de regresión de los DT y NDT estimados con el aprendizaje, para SOAs cortos y largos y para los tres modelos. (*) El umbral de significancia utilizado es $\alpha = 0.05$.

En resumen, hemos observado una diferencia sistemática con el modelo de cuello de botella pasivo: Un incremento de RT1 comparado con RT_{aislada}. Este efecto se refleja tanto en las componentes estocásticas como no estocásticas del RT y decrece con el aprendizaje. Sólo las componentes no estocásticas, que no son afectadas por el SOA, permanecen significativas luego del entrenamiento intensivo.

Un modelo de decisiones anidadas.

En trabajos previos, se ha sugerido que la ejecución de dos tareas en un protocolo tipo PRP puede involucrar una serie de decisiones anidadas: Primero elegir la secuencia de las tareas a realizar (qué tarea realizar primero) y luego ejecutarlas en ese orden (Sigman y Dehaene, 2006). En particular, se mostró que esa primera decisión (ejecutiva) era previa a la resolución de T1 y estaba influenciada por el SOA, ya que el RT1 aumentaba para SOAs pequeños –es decir que es más difícil iniciar una tarea cuando ya está disponible la información para cualquiera de las dos–. En esta sección representamos RT1 como dos decisiones encadenadas, cada una con una distribución Wald desplazada y luego convolviendo ambas distribuciones (Figura 4.2.7B), en contraste con el modelo estándar de una única decisión (Figura 4.2.7A), para dar cuenta del efecto antes mencionado.

Estas dos decisiones son: 1) la decisión relacionada a la tarea en cuestión (discriminación de tonos) cuyos parámetros (NDT y DT) fueron tomados de un modelo estándar de la distribución de RT_{aislada} (Figura 4.2.7A), y la componente ejecutiva inicial modelada como otra Wald de parámetros DT y NDT desconocidos. Se ajustaron las distribuciones de RT1 para los distintos valores de SOA con la convolución de ambas (Figura 4.2.7B). Este ajuste entonces tiene nuevamente dos parámetros libres –DT y NDT de la componente ejecutiva–. Una consideración a tener en cuenta es que las tareas simples, tanto la auditiva como la visual, fueron respondidas con la mano derecha, mientras que en el experimento de PRP, la primera tarea es respondida con la mano derecha y la segunda con la mano izquierda.

Con este procedimiento hemos observado que la componente ejecutiva poseía a su vez un NDT que no era afectado por el SOA y decrecía moderadamente con el aprendizaje, y un DT que se incrementaba significativamente para valores de SOA pequeños y mostraba una fuerte disminución con el aprendizaje (Figura 4.2.6C,D; Efecto de SOA: NDT: $p=0.1496$, $t=1.70$, $df=5$, y DT: $p=0.0010$, $t=6.81$, $df=5$; t-test pareado entre valores pequeños y grandes de SOA; y efecto de aprendizaje: NDT: $p=0.0273$ and DT: $p=0.0482$).

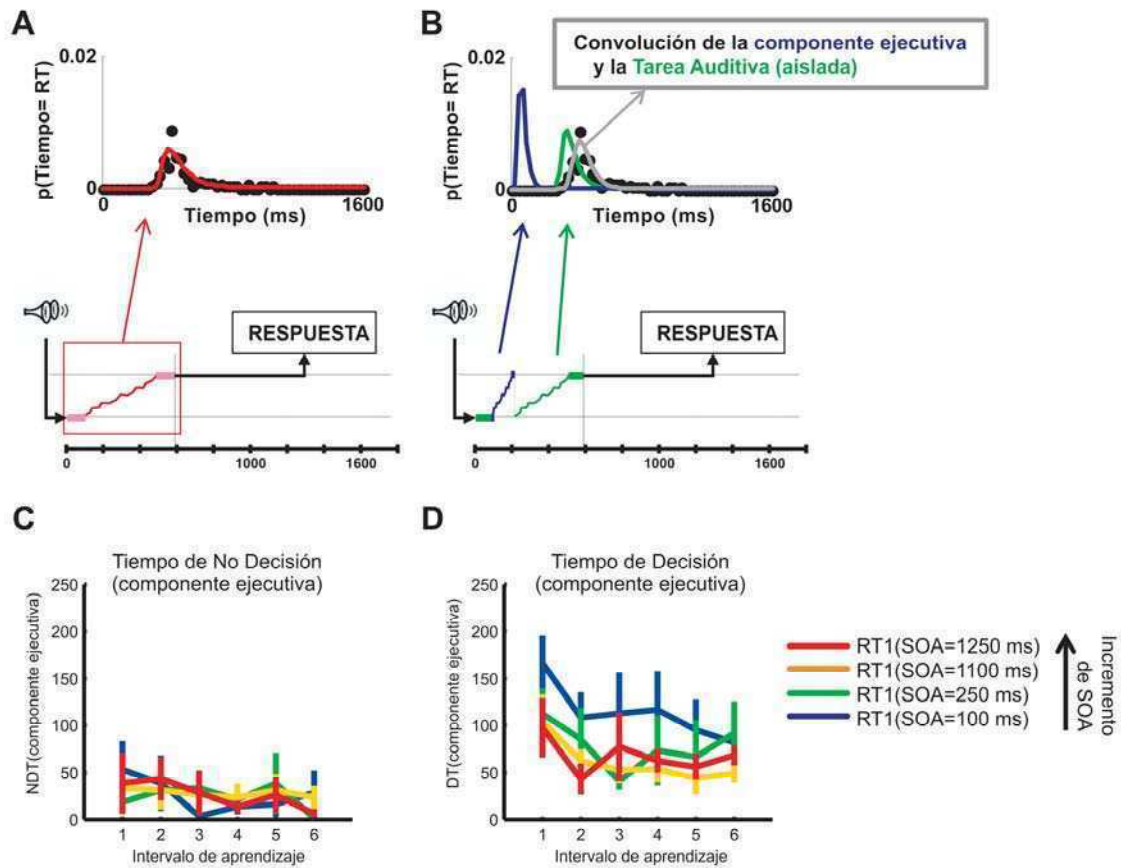


Figura 4.2.7 A) Esquema del modelo de difusión de una barrera usado para separar DT y NDT a partir de las distribuciones de tiempos de respuesta. B) Esquema del modelo utilizado para ajustar las distribuciones de RT1 como la convulsión de dos procesos de decisión encadenados. La primer decision representa la componente ejecutiva y la segunda la decisión correspondiente a la tarea. C,D) Contribuciones de DT y NDT de la componente ejecutiva. La mayor contribución resulta de DT, que se incrementa para valores pequeños de SOA. Este efecto decrece con el aprendizaje. Los ensayos fueron agrupados en 6 intervalos a lo largo del aprendizaje.

Conclusiones

Existe una amplia bibliografía dedicada a los procesos de automatización de una tarea (Compton y Logan, 1991; Schneider y Shiffrin, 1977; Shiffrin y Schneider, 1977), y dentro de los paradigmas de PRP, una serie de estudios ha explorado los cambios del efecto principal luego del entrenamiento (Greenwald, 2003; Greenwald y Shulman, 1973; Lien, *et al.*, 2002; Maquestiaux, *et al.*, 2008; Pashler, *et al.*, 2001; Ruthruff, Hazeltine, *et al.*, 2006; Ruthruff, Johnston, *et al.*, 2001; Ruthruff, *et al.*, 2003; Ruthruff, Van Selst, *et al.*, 2006; Van Selst, *et al.*, 1999). Estos estudios han encontrado consistentemente una marcada reducción de la interferencia en PRP. Sin embargo, todavía se mantienen los debates respecto a la naturaleza de este aprendizaje. ¿Es posible que refleje la paralelización parcial de las tareas o, alternativamente, el cuello de botella serial persiste pero cada tarea se acelera?

Los resultados presentados en esta sección resultan novedosos porque combinan los análisis clásicos de interferencia –en retrasos de RTs promedio– con modelos de difusión en toma de decisiones, separando las contribuciones de las componentes asociadas al DT y NDT. Esto nos permitió explorar la reorganización de la arquitectura de una tarea a lo largo del aprendizaje, investigando las contribuciones

de las diferentes etapas a la media y a la variabilidad del RT, y a los cuellos de botella del procesamiento de la tarea.

El efecto global del aprendizaje sobre PRP es consistente con los trabajos anteriores, ya que el régimen de interferencia se reduce pero, para SOAs cortos, el efecto de PRP permanece presente. Por supuesto es posible que con más sesiones de entrenamiento el régimen de interferencia continúe reduciéndose aún más, inclusive por debajo de los valores más pequeños de SOA explorados. Sin embargo, nuestros resultados sugieren que para estas tareas simples, aunque arbitrarias (comparadas con las tareas sobre estímulos de alta compatibilidad ideomotora), persiste un fuerte residuo del efecto de PRP, inclusive después de un entrenamiento intensivo de 15 sesiones de una hora. Los parámetros del efecto de PRP pueden variar (particularmente la ubicación del “codo” en la curva de RT₂ versus SOA) pero el patrón cualitativo del cuello de botella central se mantiene.

La persistencia del cuello de botella es consistente con la teoría del *global workspace*. Según esta teoría, para resolver la tarea se establece una red extensa – el *global workspace* – que permite el flujo de información entre procesadores arbitrarios, distantes y desconectados en otro contexto (Baars, 1989; Dehaene, *et al.*, 1998; Dehaene y Naccache, 2001; Zylberberg, *et al.*, 2010). Cuando la relación entre estímulos y respuestas es enteramente arbitraria, se debe establecer un mapeo temporal, a través de esta red, entre los procesadores independientes dedicados tanto al estímulo como a la respuesta. Esto se alcanza a través de la mediación del *workspace* central (Baars, 1989; Dehaene, *et al.*, 1998; Dehaene y Naccache, 2001; Zylberberg, *et al.*, 2010). Aunque es posible reducir la interferencia para tareas de mapeos no arbitrarios, y probablemente no enteramente independientes (Greenwald, 2003; Lien y Proctor, 2000; Lien, *et al.*, 2002; Lien, *et al.*, 2003), de acuerdo a nuestros resultados, miles de ensayos son insuficientes para lograr que el mapeo arbitrario de un estímulo a una respuesta eviten pasar por el *global workspace* serial.

La reducción observada en el efecto de PRP básico fue acompañada por un incremento progresivo en la fracción de procesamiento dedicada al tiempo de no-decisión. Esta progresión hacia un procesamiento más robusto y dedicado puede explicar las observaciones hechas en estudios de automatización de una tarea (Schneider y Shiffrin, 1977; Shiffrin y Schneider, 1977); y es también ampliamente consistente con la idea de que el aprendizaje resulta de una transferencia a etapas tempranas del procesamiento cortical de representaciones de propiedades complejas relevantes a la tarea (Gilbert, *et al.*, 2001; Sigman y Gilbert, 2000; Sigman, *et al.*, 2005). Nuestros resultados también son compatibles con la hipótesis que la reactivación de la memoria y un cálculo algorítmico coexisten y compiten en paralelo (Compton y Logan, 1991; Klapp, *et al.*, 1991a, 1991b), al igual que en esos estudios, proponemos un modelo con una arquitectura fija en la que sólo pueden variar los parámetros producto del aprendizaje.

El último objetivo de esta sección era explorar el impacto del entrenamiento intensivo en los componentes ejecutivos involucrados en la coordinación entre las dos tareas. El rol de estos componentes es evidente en situaciones donde las respuestas a cada tarea comparten una representación común (De Jong, 1993, 1995) y en experimentos donde el orden de las acciones para alcanzar un objetivo complejo no está determinado a priori (Sigman y Dehaene, 2006; pero también ver la sección 4.4). La evidencia de que los RTs en PRP incluyen componentes ejecutivas no es consistente con el modelo pasivo simple de resolución serial del conflicto entre dos tareas, y favorece modelos de arquitectura cognitiva con más de un cuello de botella. Estudios previos mostraron que, más allá del cuello de botella en la selección de la

respuesta (Pashler, 1984), en dichas situaciones se evidencia otro cuello de botella correspondiente a la organización de la secuencia de procesos. Este es aún más pronunciado cuando el mismo efector (como respuestas con las dos manos) es utilizado respecto de situaciones en las que se combinan efectores que no comparten una misma representación abstracta (como respuestas con una mano y la voz) (De Jong, 1993; Logan y Burkell, 1986). En esta sección mostramos que estas componentes ejecutivas pueden estar presentes en una tarea doble clásica y son sensibles al parámetro crítico de la interferencia, el SOA, que también modula la ambigüedad en la secuencia de tareas. Luego de un entrenamiento intensivo, todavía puede detectarse una contribución remanente de esta componente, de 100 ms de duración e independiente del SOA (Figura 4.2.7). Por lo tanto, nuestros resultados sugieren que las decisiones ejecutivas involucradas en la organización de dos tareas concurrentes también sufren un proceso de automatización; por lo que, luego de un entrenamiento intensivo, son resueltas en tiempos muy cortos y robustos.

Nuestros resultados de las diferentes contribuciones al RT en la resolución de una tarea aislada y durante un experimento de dos tareas fueron consistentes entre los tres modelos examinados. Esto sugiere que, dado que comparten una base teórica común y al menos para los RTs específicos analizados en este experimento, estos modelos resultan equivalentes. Desde luego, esta conclusión no necesariamente debe sostenerse en otras situaciones. La razón por la cual estos modelos concuerdan en el presente experimento depende ciertas características de los datos. En primer lugar, aparentemente no hay sesgos en la respuesta: Los RTs son idénticos para ambos tonos (las distribuciones de respuestas no difieren significativamente de cero; t-test para todos los sujetos y todos los intervalos de aprendizaje). Este hecho es muy diferente a una tarea de decisión léxica en la cual las dos respuestas “Es una palabra” y “No es una palabra” no son simétricas, por lo que esta es una de las tareas más estudiada con modelos de dos barreras (Ratcliff y McKoon, 2008; Ratcliff y Rouder, 1998; Wagenmakers, Ratcliff, *et al.*, 2008; Wagenmakers, *et al.*, 2007). En segundo lugar, el número de errores era extremadamente bajo e independiente de los parámetros experimentales.

En resumen, el entrenamiento intensivo mejoró significativamente la velocidad y robustez de las decisiones pero, para las tareas arbitrarias estudiadas en esta tesis, no permitió evitar el cuello de botella del procesamiento serial. La incapacidad de procesar dos tareas a la vez aparece, una vez más, como una característica estructural robusta de la arquitectura cognitiva.

4.3. PRP y Esclerosis Múltiple: Evaluando déficits en una tarea doble y el modelo en pacientes.

Métodos específicos

Participantes

Pacientes (EM)

El estudio se realizó sobre 10 pacientes con Esclerosis Múltiple definida clínicamente de acuerdo al criterio de diagnóstico estándar (Polman, *et al.*, 2005), todos ellos fueron diagnosticados en estadio de “recaídas y remisiones” al momento del estudio. Los pacientes (3 hombres / 7 mujeres) poseían una duración de la enfermedad promedio de (media \pm sd) 6.4 ± 5.0 años y el *Expanded Disability Status Scale (EDSS)* (Kurtzke, 1983) promedio fue de 1.2 ± 0.6 .

El criterio de inclusión fue el siguiente: 1) Diagnóstico clínico de Esclerosis Múltiple, 2) Edad mayor a 18, 3) Sin deficiencias visuales o auditivas, 4) Eran capaces de proveer un consentimiento escrito del procedimiento.

El criterio de exclusión fue el siguiente: 1) Presencia de otros desordenes neurológicos además de Esclerosis Múltiple, 2) Historia de desordenes psiquiátricos, 3) Historia de abuso y dependencia de alcohol o drogas, 4) Imposibilidad física que le impidiese realizar las evaluaciones con un desempeño adecuado, 5) Enfermedad sistémica no controlada o que pudiese causar imposibilidades cognitivas (i.e. endocrinológica, tóxica, genética-degenerativa, metabólica, infecciosa).

Controles sanos (CS)

Como grupo control se tomaron 9 participantes (2 hombres / 7 mujeres). El promedio de edad fue menor a los pacientes (EM: 41.0 ± 6.0 ; CS: 36.6 ± 6.6), ambos grupos no diferían en los años de educación formal (EM: 15.3 ± 2.6 ; CS: 15.8 ± 2.3). El grupo control fue reclutado sin historia de enfermedades neurológicas y con evaluación *Mini-Mental State Examination (MMSE)* de Folstein (Folstein, *et al.*, 1975) mayor a 26.

Evaluación neuropsicológica

Los pacientes realizaron la Batería Breve Repetible para Esclerosis Múltiple (*Brief Repeatable Battery for Multiple Sclerosis, BRB-MS*) (Rao, 1991) traducida al español para la población latinoamericana (Sepulcre, *et al.*, 2006; Vanotti, *et al.*, 2009). La BRB-MS incluye las siguientes evaluaciones: 1) El *Selective Reminding Test* (Buschke y Fuld, 1974) que mide consistentemente la Reproducción a Largo Término (*Long Term Retrieval, LTR*) y Almacenamiento a Largo Término (*Long Term Storage, LTS*) a través de la presentación de una lista de 12 palabras y 5 ensayos de memoria; 2) El *7-24 Spatial Recall Test* (Barbizet y Cany, 1968) que mide el aprendizaje visual y la capacidad de reproducción, a partir de recrear un patrón de 7 piezas iguales en un tablero de ajedrez de 6x6 presentado por 10 segundos; 3) El *Paced Auditory Serial Addition Task (PASAT)* (Gronwall, 1977) que evalúa la capacidad de sostener la atención y la velocidad de procesamiento de información, a través de secuencias de presentaciones de números (cada 2 o 3 segundos), sobre las cuales se le pide al participante que sume el número que está siendo presentado con el inmediatamente anterior; 4) La *Word List Generation (WLG)* que mide la fluencia semántica verbal,

evaluando la producción espontánea de palabras empezando con una letra en particular en 60 segundos; y 5) El *Symbol Digit Modalities Test* (SDMT) (Smith, 1982) que mide la atención compleja y la concentración que requiere el participante para realizar asociaciones de símbolos con números, y evocar rápidamente un número a partir del símbolo. La última evaluación no está incluida en el BRB-MS original y es inverso al *Digit Symbol Test*.

El *Trail Making Test* (Trails A y B) evalúa funciones ejecutivas asociadas a la modulación de la atención entre dos tareas, midiendo los tiempos necesarios para completar un camino entre números dispersos en una hoja (A) o intercalando números y letras (B). El *Multiple Sclerosis Functional Composite* (MSFC) usado incluye una caminata de 25 pies, el 9-Hole-Peg, y un test de PASAT-3. La evaluación del EDSS fue obtenida para todos los pacientes para documentar el estado neurológico actual.

Detalles de las tareas y la presentación de estímulos

El presente experimento continúa la línea de las secciones anteriores. Los participantes completaron una sesión que contenía ensayos con una tarea numérica aislada, y ensayos en los que esta tarea era presentada como segunda tarea (T2) dentro de un paradigma de dos tareas. En este caso la primera tarea (T1) fue una tarea auditiva de discriminación de tonos.

La tarea numérica fue siempre respondida con la mano hábil mientras que la tarea auditiva fue respondida con la mano no hábil. Antes de comenzar el experimento, los pacientes eran evaluados por un médico y realizaban dos exámenes para evaluar sus capacidades motoras: *9-Hole Peg* y *Caminata de 25 pies*. Todos los pacientes completaron estas tareas correctamente.

En la tarea numérica se presentaron los estímulos en negro en el centro de la pantalla sobre un fondo gris, en este caso en un monitor CRT 14" y tasa de refresco de 60 Hz. Se realizaron manipulaciones sobre las siguientes variables tanto para la tarea doble como para la tarea aislada: 1) Notación: El número era presentado en dígitos arábigos o en palabras (i.e. "35" o "treinta y cinco"), y 2) Distancia numérica: El valor absoluto de la diferencia entre el estímulo presentado (N) y la referencia fija (45): $d = |N-45|$. El valor de los estímulos estaba en el intervalo [20 70] (excluyendo el 45). La duración del estímulo fue de 150 ms.

En la tarea de discriminación de tonos los estímulos fueron tonos puros de 400 y 800 Hz, mezclados con un 20% de ruido blanco de 150 ms de duración.

En la tarea simple el punto de fijación aparecía por 500 ms. Los participantes tenían 2000 ms para responder luego de la presentación del estímulo.

En la tarea doble el orden fue siempre fijo: T1: Discriminación de tonos, T2: tarea numérica. Los valores de SOA fueron: [0, 100, 200, 300, 400, 500, 625, 775, 950, 1150] ms. Los participantes debían responder a ambas tareas, en el orden establecido, en menos de 3000 ms.

Se presentaron las condiciones en bloques en la siguiente proporción: 3 bloques de "tarea aislada / dígitos", 3 bloques de "tarea aislada / palabras", 6 bloques de "tarea doble / dígitos" y 6 bloques de "tarea doble / palabras". En forma azarosa pero cuidando que no se repitan. Cada bloque contenía 40 ensayos, 4 por SOA para el caso de la tarea doble.

Procedimiento general

Los participantes fueron instruidos a realizar cada tarea correctamente y tan rápido como les fuese posible – comenzando la respuesta inmediatamente después de que el estímulo correspondiente fuese presentado –. Se enfatizó que todas las tareas eran igualmente importantes y que una respuesta correcta en la tarea doble era considerada sólo si respondían correctamente a ambas tareas.

Antes de comenzar la recolección de datos los participantes realizaron al menos un bloque de cada condición (i.e. al menos 4 bloques). Las respuestas fueron monitoreadas *online* y los participantes no comenzaron el experimento hasta no alcanzar un desempeño adecuado (i.e. amplia mayoría de respuestas correctas y respuestas no agrupadas en la tarea doble).

Resultados

Resultados neuropsicológicos de los pacientes.

En la Tabla 4.3.1 se puede apreciar el desempeño en los exámenes en la BRB-MS (Rao, 1991; Sepulcre, *et al.*, 2006; Vanotti, *et al.*, 2009). Dos pacientes presentaron deficiencias en una única tarea, y otros dos presentaron deficiencias en dos tareas. Un paciente que mostró deficiencias en más de dos tareas también mostró dificultades para realizar correctamente el paradigma de PRP, y fue excluido del análisis.

		Grupo EM	
		Media	SD
<i>BRB-MS</i>			
<i>SRT</i>	<i>Long Term Storage (LTR)</i>	47.2	11.8
	<i>Consistent Long Term Retrieval (CLTR)</i>	39.6	9.2
	<i>Delayed Recall</i>	10.9	7.2
<i>7/24</i>	<i>Correct Answers Trails 1 to 5</i>	30.0	4.2
	<i>Immediate Recall</i>	4.7	1.9
	<i>Delayed Recall</i>	4.4	2.1
<i>PASAT 3"</i>		46.7	9.9
<i>PASAT 2"</i>		31.9	7.4
<i>COWAT</i>		40.4	9.1
<i>Symbol Digit Modalities Test</i>		52.3	7.8
<i>Trail Making A</i>		36.9	10.3
<i>Trail Making B</i>		77.3	20.4
<i>Semantic Fluency</i>		18.6	6.0
<i>Beck Depression Inventory</i>		9.1	4.3

Tabla 4.3.1: Desempeño de los pacientes en la BRB-MS, los valores control corresponden a un promedio de los valores poblacionales pesados por edad y años de educación formal.

Manipulaciones en una tarea de comparación numérica: Efectos de la notación y la distancia numérica.

Los participantes realizaron una tarea aislada de comparación numérica simbólica, en la que se manipulan: la notación y la distancia numérica. En la distancia

numérica se utilizó un mayor rango que en el experimento de aprendizaje para poder estudiar la forma de dependencia de los RTs en esta dimensión. Para ciertos análisis se tomaron categorías dentro de la distancia: valores *cercanos*: ($d < 12$) y valores *lejanos*: ($d \geq 12$).

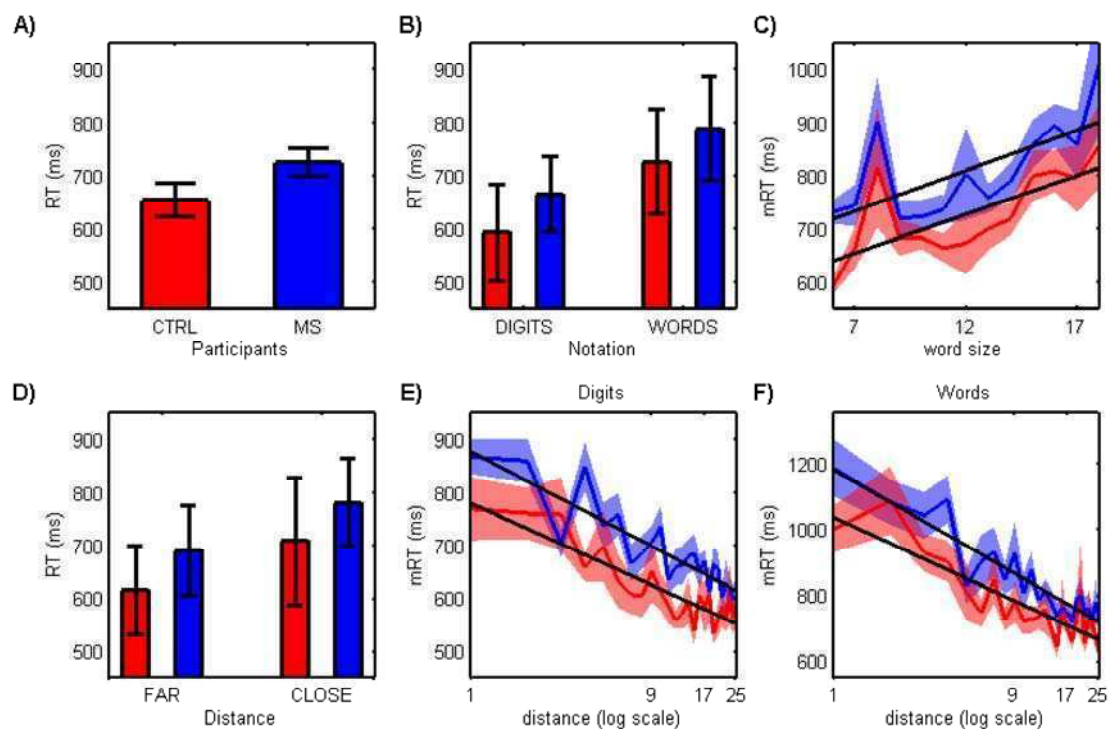


Figura 4.3.1 Tarea de comparación numérica. A) Diferencias en RT entre grupos. B,C) Efecto de notación comparando valores medios (B) y desagregando por el tamaño de las palabras (C), las líneas negras continuas son los resultados de una regresión lineal al tamaño de la palabra. D,E,F) Efecto de distancia numérica comparando valores medios (D) y desagregando por distancias para dígitos (E) y palabras (F), las líneas negras continuas son el resultados de una regresión lineal al logaritmo de la distancia numérica. En todos los paneles: Rojo: CS, Azul: EM

Los RTs medios del grupo EM fueron consistentemente más lentos que el grupo CS. En ambos grupos se observaron efectos significativos para la notación y distancia separada en categorías (Figura 4.3.1B,D y Tabla 4.3.1, columna izquierda). No se observó una interacción entre el grupo y ninguno de los efectos (Tabla 4.3.1, columna izquierda).

Exploramos más en detalle ambas manipulaciones – ubicuos en tareas de comparación numérica – parametrizando la dependencia de RT con las variables relevantes en cada caso. El efecto de notación proviene de un tiempo extra que lleva la decodificación de la palabra para dar lugar a la cantidad, y el largo de las palabras resulta una variable relevante al momento de explicar los RTs, en la Figura 4.3.1C se puede observar la dependencia del RT medio en función del largo de la palabra, en ambos grupos se puede observar una clara dependencia con el largo de la palabra – a mayor largo, mayor tiempo de respuesta – a pesar del ruido que provoca la interacción con la cantidad (ver también Figura 4.3.1F). El efecto de distancia numérica, como se describe en la introducción, puede ser explicado en base a una representación de las cantidades en una escala unidimensional, donde la diferencia entre dos cantidades constituye la evidencia a integrar para alcanzar la decisión, de forma que cuanto mayor sea la diferencia el proceso resulta más rápido. En este caso la escala logarítmica describió mejor los resultados, y puede observarse una clara dependencia de los RTs medios con la distancia numérica para ambas notaciones (Figura 4.3.1E,F).

Para ambas manipulaciones, y de forma consistente con la interacción en la ANOVA (Tabla 4.3.2), el efecto de grupo resulta aditivo con el efecto de notación y distancia numérica.

	RT (Números, tarea aislada)	RT1 (tonos, tarea doble)	RT2 (Números, tarea doble)
SOA		$P < 10^{-5}$ (df=9; F=4.65)	$P < 10^{-14}$ (df=9; F=115.74)
Notación	$P < 10^{-6}$ (df=1; F=33.77)	P=0.46 (df=1; F=0.58)	$P < 10^{-11}$ (df=1; F=48.36)
Distancia	$P < 10^{-3}$ (df=1; F=16.24)	P=0.50 (df=1; F=0.45)	$P < 10^{-13}$ (df=1; F=58.84)
Grupo (EM/CS)	$P < 10^{-2}$ (df=1; F=7.56)	P=0.21 (df=1; F=1.57)	$P < 10^{-14}$ (df=1; F=89.60)
SOA*Notación		P=0.99 (df=9; F=0.18)	P=0.35 (df=9; F=1.11)
SOA*Distancia		P=0.99 (df=9; F=0.17)	P=0.99 (df=9; F=0.19)
SOA*Grupo		P=0.90 (df=9; F=0.46)	P=0.20 (df=9; F=1.36)
Notación*Distancia	P=0.21 (df=1; F=1.59)	P=0.90 (df=1; F=0.01)	P=0.25 (df=1; F=1.35)
Notación*Grupo	P=0.91 (df=1; F=0.01)	P=0.38 (df=1; F=0.78)	$P < 0.05$ (df=1; F=3.94)
Distancia*Grupo	P=0.91 (df=1; F=0.01)	P=0.95 (df=1; F=0.01)	P=0.90 (df=1; F=0.01)

Tabla 4.3.2: Efectos principales de SOA, distancia numérica (agrupada en categorías cercanas y lejanas), notación y grupo (CS o EM): Se implementó un ANOVA con el RT promedio por sujeto como variable dependiente y los factores mencionados como variables independientes. Las letras gruesas marcan los efectos significativos, $\alpha = 0.05$

En resumen, encontramos los efectos esperados de notación y distancia numérica en ambos grupos, así como un efecto aditivo de grupo. Siguiendo una lógica cronométrica pura (Posner, 2005), la diferencia de grupo no debería estar relacionada ni con el reconocimiento de la palabra ni con la toma de decisión propiamente dicha.

Efectos principales de notación y distancia numérica sobre los tiempos de respuesta en una tarea doble.

A continuación nos enfocamos sobre los RTs en el paradigma de PRP, donde la primera tarea (T1) fue siempre la tarea auditiva y la segunda (T2) fue la tarea de comparación numérica estudiada previamente. Consistentemente con las observaciones de la tarea numérica aislada, hemos observado que el grupo EM respondió más lentamente que el grupo CS; esta diferencia resultó independiente del SOA (Figura 4.3.2A y Tabla 4.3.2, columna derecha). Este hecho, sumado a que no se observaron diferencias de grupo en T1 (Figura 4.3.2B y Tabla 4.3.2, columna central) apunta a una diferencia entre grupos asociada exclusivamente a la tarea numérica, en un estadio posterior al cuello de botella. Por otro lado, la diferencia entre grupo tampoco parecería estar relacionada a aspectos comunes como la ejecución motora, si se tiene en cuenta que además la tarea numérica se respondía siempre con la mano hábil.

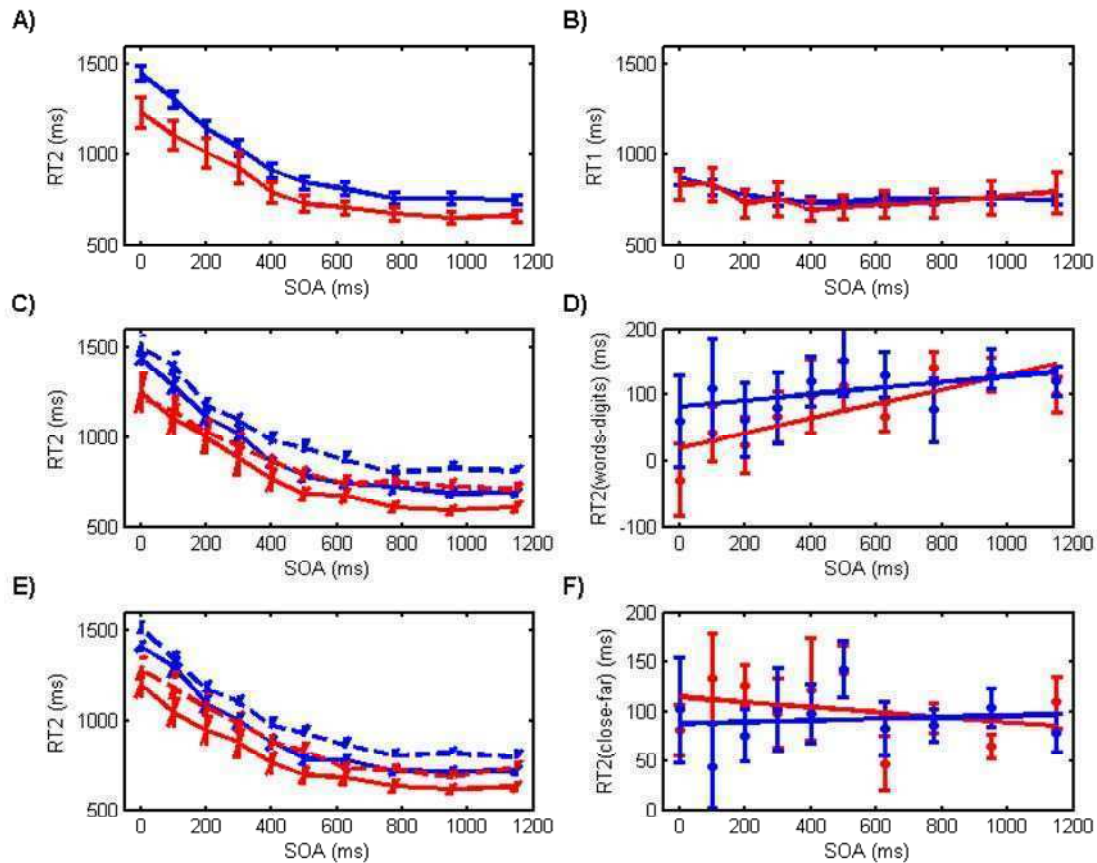


Figura 4.3.2 Tarea doble. RT2 (A) y RT1 (B). Donde se observa que RT2 aumenta para SOA pequeños mientras que RT1 es constante, y que el efecto de grupo sólo se observa en RT2. C,D) Efecto de notación, y E,F) Efecto de distancia sobre RT2. Sólo el efecto de notación para el grupo control llega a absorberse. En todos los paneles: Rojo: CS, Azul: EM

Una medida para distinguir si una manipulación experimental está relacionada a un proceso que ocurre antes o después del cuello de botella es evaluar, a SOA cortos, si el incremento en el RT2 esperado por una manipulación en T2 es absorbido en el RT observado o no –i.e. si el proceso involucrado en ese efecto puede ser ejecutado en paralelo o no con una tarea concurrente (T1)– (Sigman y Dehaene, 2005). Aislamos entonces las dos manipulaciones realizadas en la tarea numérica en función del SOA, calculando nuevamente las diferencias entre notaciones y entre categorías de distancias ($(RT2(\text{palabras})-RT2(\text{dígitos}))$ y $(RT2(\text{cerca})-RT2(\text{lejos}))$); Figura 4.3.2D,F), y realizamos una regresión lineal de esas diferencias en función del SOA. En este esquema la pendiente denota la medida en que el efecto es absorbido –si la pendiente es 0, no se absorbe– y la ordenada al origen denota el valor absoluto de dicha absorción –si la ordenada es 0 entonces se absorbió completamente el efecto–.

El efecto de distancia no fue absorbido para ninguno de los grupos (Figura 4.3.2F y Tabla 4.3.3), lo cual es coherente con la bibliografía previa y en la sección 4.1, ya que el efecto de distancia está involucrado en una etapa serial de selección de la respuesta, que es justamente la que determina el cuello de botella. El efecto de notación en cambio sí fue absorbido por el grupo CS, como era esperable ya que la manipulación repercute en una etapa perceptual, previa al cuello de botella. Notablemente este efecto no es absorbido (Figura 4.3.2D y Tabla 4.3.3) y es consistente con la interacción entre grupo y notación hallada con una ANOVA (Tabla 4.3.2).

		Ordenada al origen (ms)		Pendiente	
		CI (99%CL)	t-statistic	CI (99%CL)	t-statistic
EM	Distancia	[39, 136]	$P < 5 \times 10^{-3}$ (df=8; t=6.01)	[-0.07, 0.09]	$P = 0.75$ (df=8; t=-0.33)
	Notación	[28, 136]	$P = 10^{-3}$ (df=8; t=5.07)	[-0.04, 0.13]	$P = 0.12$ (df=8; t=1.73)
CS	Distancia	[58, 170]	$P = 10^{-4}$ (df=8; t=6.84)	[-0.12, 0.07]	$P = 0.38$ (df=8; t=-0.93)
	Notación	[-43, 87]	$P = 0.31$ (df=8; t=1.08)	[0.01, 0.21]	$P < 10^{-2}$ (df=8; t=3.57)

Tabla 4.3.3: Efecto de las manipulaciones: Distancia numérica (RT(cercano) – RT(lejano)) y notación (RT(palabras) – RT(dígitos)) – como función del SOA. Los valores correspondientes al Intervalo de Confianza de los parámetros de la regresión lineal al 99% de Nivel de Confianza, y un *t*-test con $H_0: b_i = 0$. Se utilizó $\alpha = 0.05$ como umbral de significancia (letras gruesas).

Conclusiones

En la tarea numérica en ambos escenarios (tarea aislada y tarea doble) se encontró un efecto aditivo en los RTs promedios muy robusto de grupo (EM/CS) con todas las manipulaciones experimentales introducidas –distancia numérica, notación y SOA–. Sin embargo, un análisis más fino en el experimento con dos tareas reveló que la manipulación de palabras en el grupo EM no era absorbida en el régimen de interferencia, como sí sucedía en el grupo CS –y como es esperable de la bibliografía en sujetos sanos–. Este resultado indica que la arquitectura de procesos que llevan a la resolución de esta tarea está afectada en los pacientes con Esclerosis Múltiple. En particular, estaría indicando que el procesamiento de las palabras ocurre después del cuello de botella serial, es decir que están utilizando recursos centrales para una tarea que suele ser paralela y automática.

Una posible hipótesis es que los pacientes con Esclerosis Múltiple, como sucede en otras patologías, estén compensando un déficit en las etapas tempranas del procesamiento del lenguaje, automáticas y paralelas, con recursos centrales, flexibles y capaces de cumplir tal rol pero pagando el costo de ser seriales (Bonnet, *et al.*, 2010; Staffen, *et al.*, 2002). Es por esta capacidad de compensar los síntomas perceptuales/cognitivos, que en muchas patologías se detectan primero los síntomas motores, a pesar de que los cognitivos estén seriamente comprometidos.

Si bien en este punto es sólo una hipótesis, marca el camino a indagar en el procesamiento temprano del lenguaje en pacientes con Esclerosis Múltiple, para discriminar –y desenmascarar– hasta donde están afectadas estas etapas en estadios tempranos de la enfermedad.

4.4. Nuevos esquemas de organización serial/paralelo.

Métodos específicos

Participantes

Cuatro participantes (3 hombres / 1 mujer, entre 27 y 30 años de edad) realizaron el experimento 1. Cada uno realizó 2 sesiones por día, durante 10 días. Cada sesión estaba dividida en 8 bloques de 36 ensayos, es decir que cada participante completó 5760 ensayos.

Cinco participantes (3 hombres / 2 mujeres, entre 22 y 30 años de edad) realizaron los experimentos 2 a 5. Dos de ellos además participaron en el experimento 1. Antes de realizar los experimentos 2 a 5 todos los participantes realizaron 6 sesiones (de 420 ensayos cada una) de un protocolo similar al del experimento 1. Luego de estas 6 sesiones, los sujetos realizaron los experimentos 2 a 5 al azar, en días separados. Cada sesión de los experimentos 2 a 5 contuvo 8, 7, 7 y 4 bloques de 60 ensayos respectivamente.

Diseño experimental (y Experimento 1)

Cada ensayo comenzó con un punto de fijación presentado en el centro de la pantalla por 500 ms, seguido de 4 presentaciones sucesivas, con una separación temporal dada por la variable SOA (Figura 4.4.1A). Cada presentación contenía dos números, uno a la derecha y uno a la izquierda del punto de fijación – los participantes se sentaron a aproximadamente un metro del monitor, por lo que cada estímulo presentado distaba 2.2° del punto de fijación central en el eje horizontal –. Los números fueron presentados en dígitos arábigos (en la *condición simbólica*) o como un conjunto de puntos (en la *condición no-simbólica*).

Los valores a la derecha e izquierda del punto de fijación en la presentación i ($i = \{1,2,3,4\}$) fueron denominados x_i e y_i . La tarea de los participantes consistió en sumar a lo largo de las 4 presentaciones las cantidades $z_i = y_i - x_i$. Nos referiremos a z_i con *sumando*. Los valores positivos indican que el valor del estímulo de la derecha es mayor. La suma acumulada al final del ensayo, denominada d , fue definida como: $d = \sum_i z_i$. Los participantes debían reportar el signo de d , es decir cuando los

números en la derecha sumaban más o menos que los presentados en la izquierda (Figura 4.4.1A). La tarea fue diseñada utilizando sumas de diferencias (en vez de simplemente sumar números positivos) para poder contar con valores positivos y negativos, de forma que el resultado final esté acotado y sean siempre números pequeños (y de un dígito). Alternativamente, se podrían haber presentado valores positivos y negativos, usando por ejemplo para la condición no-simbólica algún código de colores.

Las respuestas fueron ejecutadas con los botones de flechas a la izquierda (derecha) si $d < 0$ ($d > 0$) en un teclado de computadora. Luego de la respuesta un círculo azul (rojo) indicaba si había sido correcta (errónea) en cada ensayo.

Las secuencias de pares de números fueron generadas al azar con las siguientes condiciones: 1) Los números utilizados estaban en el intervalo de 4 a 9, 2) El valor absoluto de d estaba en el intervalo de 1 a 3, y 3) El mismo número no podía ocupar el mismo lugar (derecha o izquierda) en dos presentaciones sucesivas, para

prevenir que el participante lo percibiera como el mismo estímulo, fundamentalmente para las condiciones de SOAs más cortos.

Los valores de SOA para cada ensayo fueron elegidos pseudo-aleatoriamente de la siguiente lista de posibles valores: [100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700] ms. Los ensayos con diferente SOA y notación fueron intercalados aleatoriamente, balanceando el número total de ensayos por las combinaciones posibles de SOA y notación. Cada presentación permaneció en la pantalla por 150 ms, excepto en las condiciones de SOA igual a 100 o 125 ms, donde fue presentada por 100 o 125 ms respectivamente. Los elementos de la secuencia eran separados por pantallas con el mismo color de fondo. El punto de fijación se mantuvo a lo largo de todo el experimento.

Luego realizamos una serie de experimentos control que compartieron gran parte del diseño experimental del experimento 1, con algunas modificaciones detalladas a continuación.

En las sesiones previas a los experimentos 2 a 5 los participantes completaron 3 sesiones de un protocolo similar a la experimento 1 pero sólo con la condición simbólica y con un conjunto de valores de SOA reducido: [100, 150, 250, 350, 450, 550, 700] ms.

Experimento 2 (Enmascaramiento de la última presentación).

En este experimento sólo estudiamos la condición simbólica y valores de SOA cortos (SOA = [100, 150, 250, 350] ms).

En el 50% de los ensayos la última presentación fue seguida de una máscara que consistía en dos letras elegidas al azar, presentadas en la misma posición que los números, con la misma tipología y tamaño (Figura 4.4.3A). El tiempo entre la presentación del último sumando y la máscara fue de 300 ms para el SOA más corto y de 350 ms para los demás valores de SOA.

Experimento 3 (Responder el signo del primer sumando).

En este experimento sólo estudiamos la condición simbólica y un conjunto reducido de SOAs, que abarcaba el mismo intervalo (SOA = [100, 150, 250, 350, 450, 550, 700] ms).

Los participantes debían responder basados sólo en el primer sumando, e ignorar todas las presentaciones después de la primera.

Experimento 4 (Anticipando la primer presentación).

En este experimento sólo estudiamos la condición simbólica y un conjunto reducido de SOAs, que abarcaba el mismo intervalo (SOA = [100, 150, 250, 350, 450, 550, 700] ms). Al igual que en experimento 2, luego del último sumando se presentó una máscara.

Antes de la primer presentación – 300 ms – se agregó una clave auditiva (un tono puro de 60 Hz más un 15% de ruido blanco) por 150 ms.

Experimento 5 (Contexto temporal de la tarea).

En este experimento sólo estudiamos la condición simbólica y un conjunto de SOAs más largos (SOA = [550, 700, 1000, 1250] ms). Al igual que en experimento 2, luego del último sumando se presentó una máscara.

Análisis de Datos

Los datos experimentales fueron ajustados con un modelo de regresión logística (Hosmer y Lemeshow, 2004). La respuesta (variable dependiente) fue definida como una variable binaria (CORRECTO o INCORRECTO). Las variables (independientes) relevantes para explicar los datos fueron obtenidas partiendo de un modelo saturado con una lista completa de variables y sucesivamente removiendo las variables no significativas.

El modelo resultante incluyó las siguientes variables:

1. SOA.
2. Valor del sumando en cada posición para cada SOA ($z_i(\text{SOA})$).
3. Variable binaria determinando si el valor de z_i más grande tenía el mismo signo que d ($\text{signo}(\max(z_i)) = d$). Esta variable puede detectar una posible estrategia consistente en responder buscando la diferencia más grande de la secuencia para resolver la tarea.
4. Variable binaria determinado si uno o más sumandos son iguales a cero ($z_i = 0$ para algún i), que potencialmente podrían ser descartados en una etapa temprana de procesamiento.
5. Número de sesión.
6. Variable categórica separando los participantes.
7. Variable categórica definiendo la respuesta correcta, para dar cuenta de sesgos en la respuesta.

El objetivo principal de este experimento fue entender la contribución de cada sumando a la decisión, en función del SOA. Agregamos variables independientes adicionales al modelo para factorizar otras posibles contribuciones a la varianza. Excluyendo estas variables adicionales las observaciones reportadas en el presente manuscrito no cambian sustancialmente. En el modelo saturado original fueron incluidas otras variables (como el equivalente al punto 3. pero con el menor valor de d), que luego fueron descartadas porque no contribuían significativamente a la varianza. La bondad del ajuste del modelo fue medida como la correlación entre la predicción del modelo y las respuestas medidas, y realizando un test de Hosmer-Lemeshow (Hosmer y Lemeshow, 2004) para determinar cuándo existían diferencias significativas entre estas distribuciones.

Resultados

Efectos de los factores experimentales principales en el desempeño en la tarea: SOA, distancia, y notación.

El primer experimento poseía 3 factores independientes principales: 1) La notación, ya que la presentación visual de los números podía ser en dígitos arábigos (denominada como *tarea simbólica*) o como un conjunto de puntos (denominada como *tarea no-simbólica*); 2) El SOA que varió entre 100 ms y 700 ms; y 3) La distancia (d) – la suma total – que varió entre -3 y 3 (excluyendo el 0), y muchas veces la consideraremos en valor absoluto.

En primer lugar estudiamos los efectos de estos factores y sus interacciones. Como era esperado, todos los factores tuvieron efectos significativos (Figura 4.4.1B,C,D y Tabla 4.4.1), es decir que el desempeño mejoraba tanto para los SOA largos, como para la tarea simbólica –en oposición a la no-simbólica–, y para las distancias acumuladas mayores.

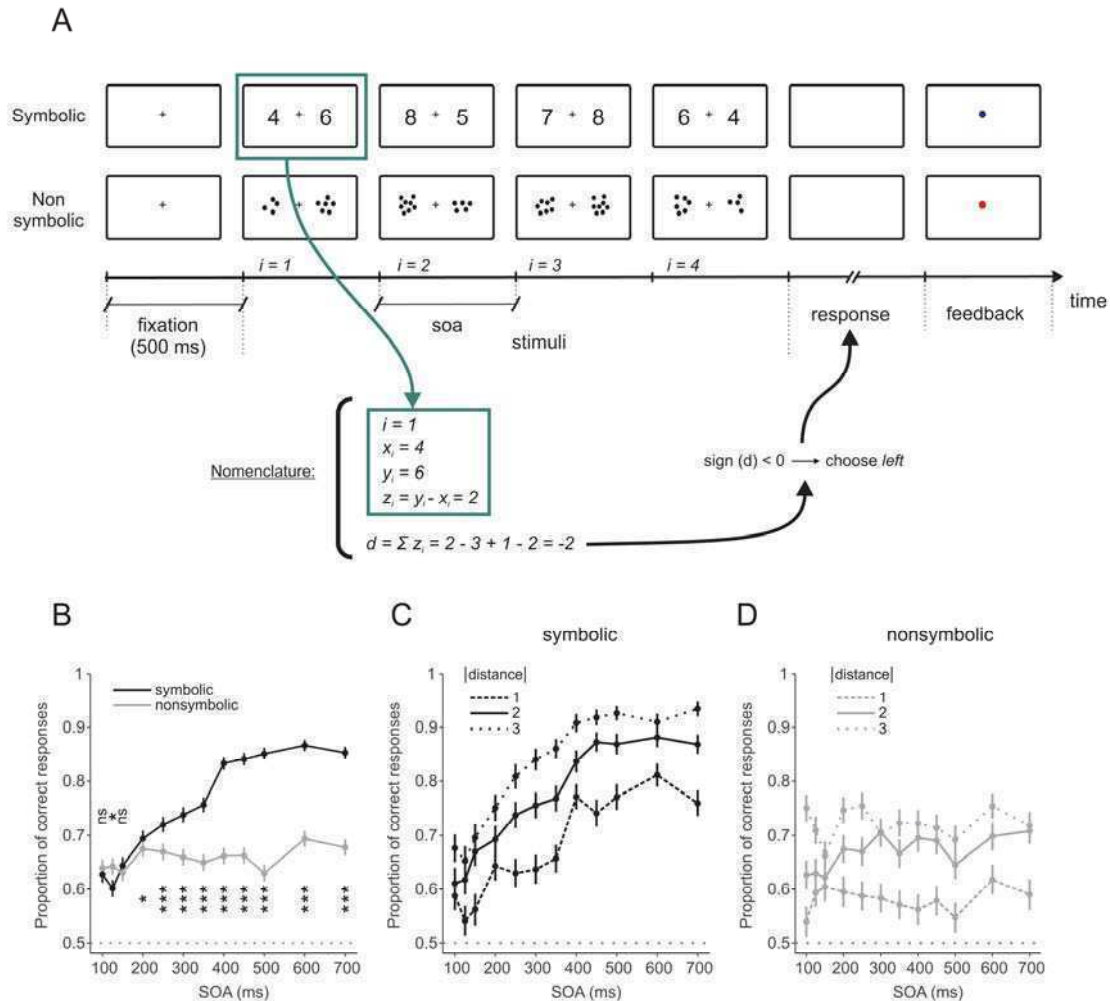


Figura 4.4.1 A) Diseño experimental del experimento principal. B) Efecto de SOA sobre la probabilidad de responder correcto (P_c) promedio, para la tarea simbólica (negro) y no simbólica (gris). Los niveles de significancia fueron calculados con t-tests pareados ($DF=39$); ns: $p>0.05$, *: $p<0.05$, ***: $p<10^{-4}$. C) P_c en función de SOA para los 3 posibles valores absolutos de d_i , para ensayos en los que los números fueron presentados como dígitos. D) Similar a C, para la tarea no simbólica. Las barras de error indican el error estándar del promedio.

El efecto de distancia resultó aditivo, es decir que no mostró interacción con los otros factores (Figura 4.4.1C,D y Tabla 4.4.1). La única interacción significativa fue entre la notación y el SOA, como se puede observar claramente en la Figura 4.4.1B. El desempeño en la tarea simbólica se incremento con el SOA desde niveles de azar a más del 80% de ensayos correctos. Este era de hecho el resultado esperado: “a mayor tiempo entre estímulos, menos errores”. Sin embargo, resultó muy interesante que el incremento del SOA no afectara el desempeño más allá de los 400 ms. El test pos-hoc de Tuckey mostró diferencias no significativas sobre el desempeño ($p>0.05$) para valores en el rango entre 400 y 700 ms. El porcentaje de ensayos correctos, a pesar de ser muy bueno, no llego a ser perfecto como se esperarí para tiempos muy largos, más adelante estudiaremos más en detalle los orígenes de esta meseta.

Sorprendentemente, el desempeño en la tarea no-simbólica no se vio afectado por las variaciones – de hasta 7 veces – en el SOA (Figura 4.4.1B,D).

Profundizando en la interacción entre notación y SOA, observamos que las curvas de desempeño en función del SOA para la tarea simbólica y no-simbólica se cruzan en valores de SOA cortos (Figura 4.4.1B), esto indicaría que las presentaciones rápidas resultan insuficientes para coleccionar la información simbólica necesaria, mientras que en esos tiempos es posible realizar una estimación aproximada de la información analógica del conjunto de puntos, con niveles de desempeño comparables a las presentaciones más lentas.

Factor	d.f.	F	P
SOA	11	22.12	$< 10^{-16}$
NOTACIÓN	1	143.95	$< 10^{-13}$
DISTANCIA	2	219.76	$< 10^{-16}$
SOA * NOTACIÓN	11	18.65	$< 10^{-16}$
SOA * DISTANCIA	22	0.96	0.52
DISTANCIA * NOTACIÓN	2	0.21	0.81

Tabla 4.4.1. Resultados del ANOVA con SOA, NOTACIÓN y DISTANCIA como factores principales y SUJETOS*SESIONES como variable aleatoria. Se utilizó $\alpha = 0.05$ como umbral de significancia.

Determinantes críticos de la decisión

Como hemos mostrado hasta aquí, el desempeño de los participantes en una concatenación de operaciones aritméticas rápidas se encuentra a medio camino entre azaroso y perfecto, inclusive para los SOAs más lentos presentados en esta sección. En un cálculo formal, cambiar el orden de los factores es irrelevante para el resultado final, dado que es una operación conmutativa. El hecho de que el desempeño no sea perfecto indica que los participantes recaen en claves parciales durante el proceso de decisión, accediendo sólo a un subconjunto de la información disponible; por lo tanto la operación ya no es conmutativa y el orden puede pasar a ser un factor importante. En esta sección exploramos –a través de un modelo de regresión logística– cuáles son las variables determinantes en el proceso de decisión. El objetivo principal del análisis de regresión fue determinar cuál era el peso relativo de los sumandos (z_i) en la decisión final. Las principales variables independientes consideradas fueron los z_i para cada valor de SOA (4 sumandos x 12 valores de SOA) (Figura 4.4.1), pero también se incluyeron otras variables independientes que potencialmente podían introducir una tendencia en la decisión final, como el signo del máximo sumando o el número de sumandos nulos (ver Métodos específicos para una lista más detallada de las variables del modelo).

A través de la regresión logística, el modelo asigna un valor de probabilidad de respuesta correcta a cada ensayo. Para estimar la bondad del ajuste, se ordenaron los ensayos de acuerdo a la probabilidad asignada por el modelo y se dividieron en 120 percentiles. Para cada grupo se estimó la probabilidad media asignada por el modelo y la proporción de respuestas correctas en esos ensayos durante el experimento (ver recuadros en las Figuras 4.4.2A,B). Como puede verse en la figura, el modelo ajusta los datos experimentales con mucha precisión (la correlación entre el desempeño medido y predicho para estos grupos fue de $R^2 > 0.97$, tanto para la tarea simbólica como no-simbólica). Para formalizar la bondad del ajuste realizamos un Test de Hosmer – Lemeshow (Hosmer y Lemeshow, 2004), el cual evalúa la hipótesis de que

las distribuciones medidas y predichas sean diferentes. El test se aplicó a las tareas simbólica y no-simbólica por separado, con 120 grupos cada una. La estadística χ^2 del Test de Hosmer – Lemeshow no mostró diferencias significativas para ninguno de los dos casos (simbólica: $\chi^2 = 97.40$, $p = 0.92$ y no-simbólica: $\chi^2 = 120.2$, $p = 0.43$).

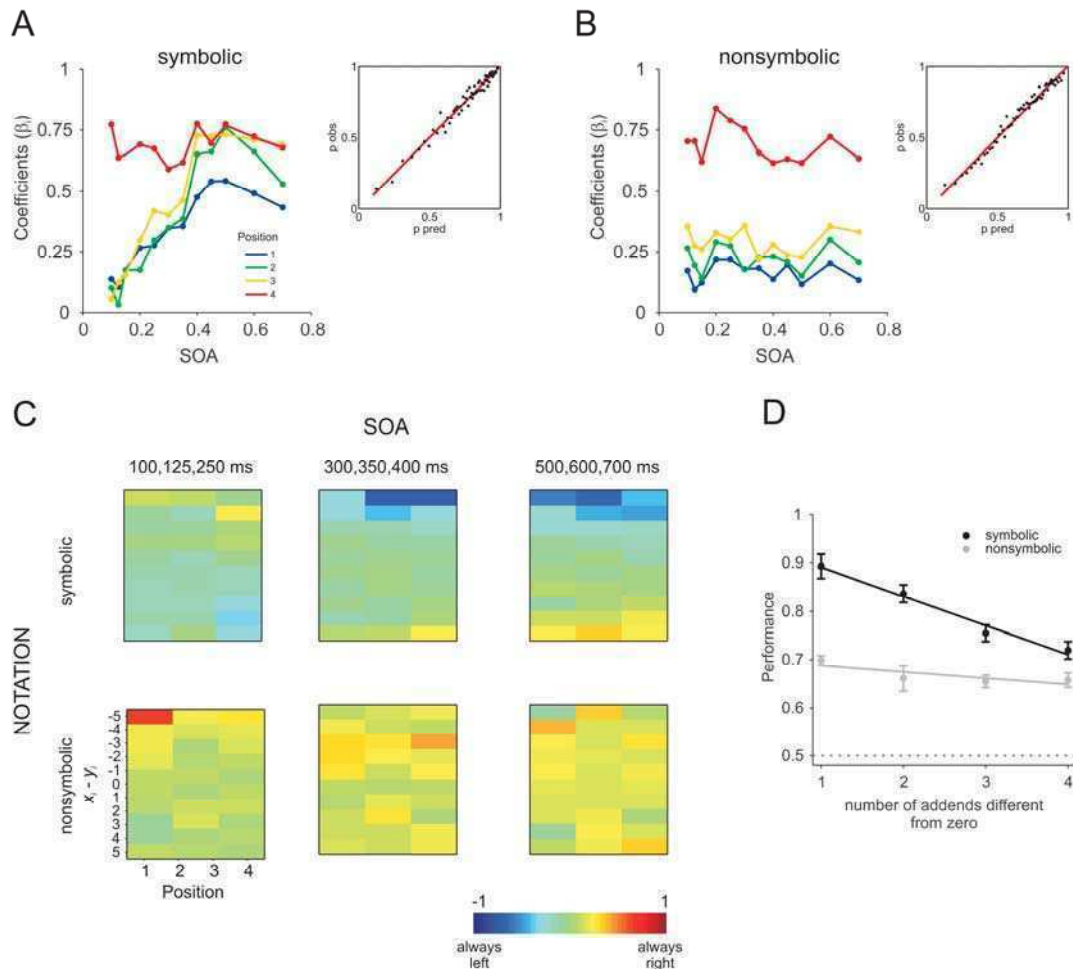


Figura 4.4.2 A,B) Contribución de cada sumando (z_i) a la decisión, como función del SOA. Los coeficientes fueron obtenidos mediante una regresión logística al modelo descrito en Métodos específicos. Recuadros: Comparación de P_c precedida por el modelo y P_c observada experimentalmente. C) Proporción de los ensayos (normalizados al intervalos (-1,1)) donde la respuesta fue “derecha” (1) o “izquierda” (-1) para todas las combinaciones de valor del sumando (z_i), posición, notación, y SO agrupado. D) P_c como función del número de sumandos diferentes a cero. Las barras de error indican el error estándar del promedio.

La Figura 4.4.2A,B muestra los coeficientes de la regresión (β_i) para cada valor de SOA, estos reflejan el peso de cada sumando (z_i) en la decisión final. Para la tarea no-simbólica (Figura 4.4.2B), al igual que lo observado anteriormente analizando el desempeño, los coeficientes no dependen de SOA. La contribución de cada sumando en la secuencia muestra una clara política tipo *último-entrado primero-salido* (*last-in first-out, LIFO*), donde el último sumando virtualmente determina la decisión y el peso de los sumandos anteriores decrece progresivamente. En la tarea simbólica (Figura 4.4.2A), los coeficientes de la regresión varían con el SOA. Para valores de SOA cortos, al igual que en la tarea no-simbólica, la decisión recae virtualmente en el último sumando, z_4 . Pero al incrementarse el SOA, los pesos de los primeros sumandos crecen progresivamente, y ya para valores de SOA mayores a 400 ms, los coeficientes

de los últimos 3 sumandos son idénticos y sólo el primero posee comparativamente un menor peso en la decisión.

Otra forma de estimar el peso relativo de cada sumando en la decisión es calcular la probabilidad (frecuencia relativa) de responder derecha (1) o izquierda (-1) como función de los sumandos en cada posición. Este análisis en el que no se asume ningún modelo, mostró esencialmente los mismos resultados que la regresión logística (Figura 4.4.2C). También resulta evidente que inclusive los valores altos de los primeros sumandos ($z_i = x_i - y_i \sim \pm 5$) eran ignorados tanto en el caso de la tarea no-simbólica como en el de la tarea simbólica para valores de SOA cortos (fila inferior y primer columna de la fila superior, Figura 4.4.2C).

¿Es posible que un enmascaramiento perceptual explique el efecto LIFO?

Nuestro análisis previo mostró que los primeros sumandos de la secuencia no tenían virtualmente ningún peso en el resultado de la decisión. Este hecho podría sugerir un enmascaramiento perceptual, donde una máscara presentada un tiempo corto después del estímulo lo vuelve inaccesible (*perceptual backward masking*). Aunque las escalas temporales en este experimento (100 a 700 ms) son mucho mayores que en los experimentos de enmascaramiento (decenas de milisegundos), es posible que los primeros sumandos no tengan impacto en la decisión simplemente debido a que existe algún grado de enmascaramiento visual. Para asegurarnos de que el enmascaramiento no daba cuenta de las diferencias de pesos a favor del último sumando realizamos dos experimentos control (experimentos 2 y 3, ver Figura 4.4.3A).

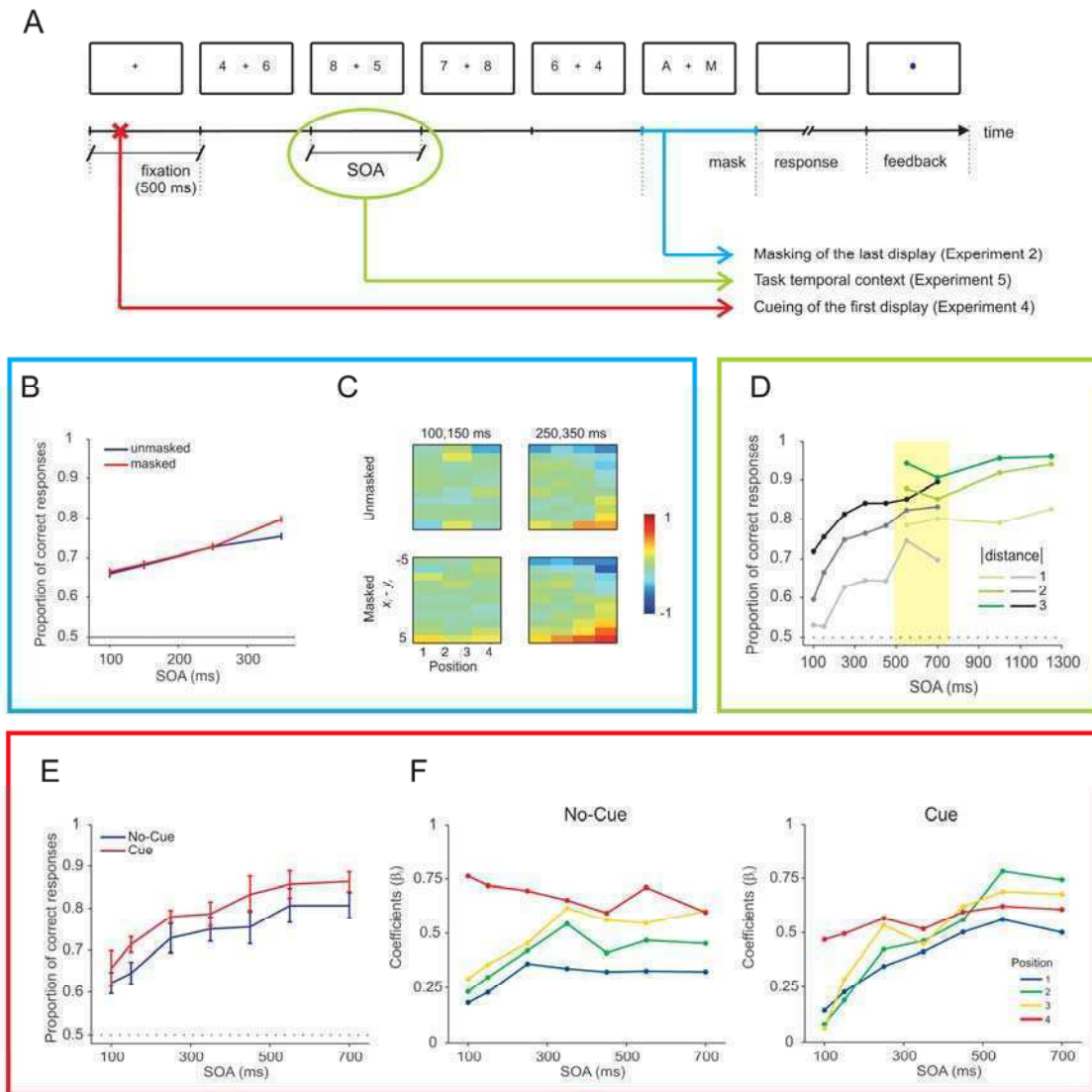


Figura 4.4.3 A) Diseño experimental de los experimentos 2, 4 y 5. Experimento 2: B) Probabilidad de responder correcto (P_c) en función de SOA y presencia de la máscara; C) Probabilidad de responder "derecha" (1) o "izquierda" (-1) para todas las combinaciones de valor del sumando (z), posición, notación, y SOA agrupado. Experimento 5: D) P_c como función de la distancia y el SOA, para los dos experimentos que diferían sólo en el rango de valores de SOA estudiados. El recuadro amarillo indica los valores de SOA compartidos entre ambos experimentos. Experimento 4: E) P_c en función de SOA para las condiciones Clave y No-Clave. La presencia de la clave aumenta el desempeño pero este efecto no interactúa con el SOA. F) Contribución de cada sumando (β) a la decisión –estimado a partir de un análisis de regresión lineal– para la condición Clave (derecha) y No-Clave (izquierda) como función del SOA.

En el experimento 2 el último sumando fue seguido de una máscara, en la misma secuencia temporal en que los estímulos previos son seguidos de otro estímulo. Este experimento mostró que el desempeño no difirió significativamente con y sin máscara (71.98% y 70.62% de respuestas correctas, ANOVA con la presencia de la máscara y el SOA como factores, $p > 0.29$) (Figura 4.4.3B), y la correspondencia entre el valor de cada sumando y el resultado final de la decisión eran muy similares entre ambas condiciones (Figura 4.4.3C). Lo cual resulta en evidencia en contra del enmascaramiento perceptual.

En el experimento 3, se les instruyó a los participantes a responder simplemente cuál de los dos dígitos que componían el primer sumando era mayor (lo cual es equivalente al signo del primer sumando). Si las siguientes presentaciones tenían un efecto de enmascaramiento perceptual entonces el desempeño debería verse afectado de alguna forma. Por el contrario, los participantes tuvieron un desempeño cercano a perfecto, el porcentaje de respuestas correctas fue del 96.05%, inclusive para los valores de SOA más cortos (85.67% a SOA = 100 ms y 93.33% a SOA = 150 ms). Por lo tanto, de estos dos experimentos control podemos concluir que el enmascaramiento perceptual no tiene mayor impacto como potencial explicación en los resultados hallados en el experimento principal.

Los experimentos previos son variantes de experimentos de interferencia en los que varios estímulos presentados de forma rápida deben ser procesados y traducidos a la respuesta apropiada. En esta situación la interferencia se resuelve claramente a través de una política LIFO. Este resultado es muy distinto de las demostraciones clásicas de interferencia en las cuales el primer elemento de la secuencia impide el procesamiento del siguiente (*pestañeo atencional*) o lo retrasa (PRP). Como paso siguiente exploramos si el agregado de una clave temporal señalizando la aparición del primer sumando podía cambiar los pesos de los sumandos, de forma similar a experimentos de AB, en donde el primer estímulo posee un peso muy fuerte y puede ensombrecer la presencia de estímulos sucesivos.

En el siguiente experimento (experimento 4, ver Figura 4.4.3A) presentamos una clave auditiva 300 ms antes de la aparición del primer sumando. El agregado de la clave resultó en un incremento significativo del desempeño (ANOVA con factores: Clave/No-Clave y SOA, y participantes como factor aleatorio; Clave/No-Clave: $p < 10^{-4}$, $F = 307.69$; Figura 4.4.3E). Este efecto es aditivo sobre todo el rango de SOAs (interacción entre Clave/No-Clave y SOA: $p = 0.98$, $F = 0.18$; Figura 4.4.3E). Un análisis de la contribución de cada sumando al resultado de la decisión mostró que la clave efectivamente aumentaba la contribución del primer sumando (Hosmer – Lemeshow con 12 grupos para el modelo de regresión logística en la condición Clave (No-Clave): $\chi^2 = 10.15$ (3.94), $p = 0.43$ (0.95)). Aunque la manipulación resultó en un cambio de las contribuciones relativas de cada sumando, el efecto principal no fue revertido (Figura 4.4.3F), el último sumando siguió siendo el mayor determinante de la decisión, inclusive en este caso donde una clave auditiva anticipaba la llegada del primer sumando.

¿A qué información (parcial) se tiene acceso de los estímulos?

A continuación nos concentramos en otras propiedades de los estímulos, más allá de la posición en la secuencia, a las que se puede tener acceso y que sirven como claves para alcanzar una respuesta. En particular nos enfocamos sobre los sumandos iguales a cero –i.e. los casos en que ambos números eran iguales ($x_i = y_i$ y por lo tanto $z_i = 0$)– y nos preguntamos si podían ser accedidos y filtrados fuera de la suma global con mayor robustez que otros elementos arbitrarios. La hipótesis fue que los participantes eran capaces de filtrar las igualdades algebraicas –lo cual sólo podía esperarse en la tarea simbólica–, es decir que las secuencias con algunos sumandos iguales a cero debían responderse con mayor precisión. El porcentaje de respuestas correctas fue decreciendo en función de la cantidad de sumandos distintos de cero, y este efecto sólo fue observado en la tarea simbólica (Figura 4.4.2D). Consistentemente, en el modelo de regresión logística observamos que la cantidad de sumandos distintos de cero, si se la incluye como una variable independiente más, tenía un efecto significativo en la tarea simbólica, pero no en la tarea no-simbólica (Diferencia entre los pesos de “N sumandos iguales a cero” y “ningún sumando igual a

0": Tarea simbólica: $p_{N,0} < 10^{-5}$ para $N=1,2,3$, tarea no-simbólica: $p_{N,0} > 0.05$ para $N=1,2,3$ ¹⁴).

Sorprendentemente, en el caso particular del último sumando, el hecho de que la diferencia sea igual a cero no afectó el desempeño, ni siquiera para los valores de SOA cortos (porcentaje de correctos para $SOA < 450$ ms cuando $z_4=0$: $(67.0 \pm 0.1)\%$ y cuando $z_4 \neq 0$, $(67.9 \pm 0.1)\%$; t-test: pareado $t = -0.98$, $DF=3$, $p=0.40$). Esta observación fue inesperada porque como habíamos mostrado con anterioridad para los valores de SOA cortos la decisión recaía principalmente en el último sumando. ¿Cómo puede no verse afectado el desempeño cuando el elemento *a priori* más informativo no aporta información útil sobre la decisión? De acuerdo a la hipótesis LIFO, uno podría esperar que cuando el último sumando no aporta información ($z_4=0$) la decisión recaiga en el sumando previo (z_3). Para examinar esta hipótesis, medimos el coeficiente de la regresión para z_3 (β_3) dependiendo de cuando z_4 fuese igual o no a cero. Con este análisis encontramos que β_3 se incrementó significativamente cuando $z_4=0$ ($p < 0.05$ ¹⁵). Una segunda predicción si la operación sigue de la política LIFO es que β_3 debe ser independiente del valor del sumando previo (z_2), en particular si es igual o diferente de cero. La diferencia entre los coeficientes para ambos casos no fue significativa ($p=0.47$ ¹⁶).

En resumen, es posible extraer los elementos nulos sólo en la tarea simbólica, inclusive en posiciones en la secuencia en las cuales *a priori* no se tiene acceso a la diferencia exacta. Consistentemente con una política LIFO de evaluación de la cola de información, el anteúltimo sumando en la secuencia se vuelve altamente determinante cuando el último elemento no es informativo, y su peso es independiente del valor de los elementos previos en la secuencia.

Arquitectura cognitiva y contexto de la tarea

En la Figura 4.4.1B mostramos que el desempeño en la tarea simbólica alcanza una meseta cercana al 85% de respuestas correctas entre los SOAs mayores a 400 ms y hasta los 700 ms. Este resultado es intrigante ya que los sumandos son números de un dígito y es esperable que a valores cercanos a los 700 ms los errores sean nulos.

Como los participantes no tenían claves del valor de SOA antes de comenzado el ensayo, nuestra hipótesis fue que definían *a priori*, para todos los ensayos, una estrategia de cálculo aproximado utilizando tiempos suficientemente cortos para abarcar gran parte del rango de valores de SOA utilizados en el experimento. Si era así, los sujetos deberían ser capaces de cambiar de la estrategia aproximada (que

¹⁴ Estadística desagregada para la tarea simbólica: Diferencia entre los pesos de "N sumandos iguales a cero" y "ningún sumando igual a 0": $E_{N=1,0} = (0,24 \pm 0,05)$ y $p_{N=1,0} < 10^{-5}$; $E_{N=2,0} = (0,80 \pm 0,08)$ y $p_{N=2,0} < 10^{-15}$; y $E_{N=3,0} = (1,38 \pm 0,17)$ y $p_{N=3,0} < 10^{-15}$; Hosmer – Lemeshow (120 grupos): $\chi^2 = 136,44$, $p = 0,12$

Estadística desagregada para la tarea no simbólica: Diferencia entre los pesos de "N sumandos iguales a cero" y "ningún sumando igual a 0": $E_{N=1,0} = (-0,01 \pm 0,05)$ y $p_{N=1,0} = 0,85$; $E_{N=2,0} = (0,02 \pm 0,07)$ y $p_{N=2,0} = 0,71$; y $E_{N=3,0} = (0,18 \pm 0,12)$ y $p_{N=3,0} = 0,13$; Hosmer – Lemeshow (120 grupos): $\chi^2 = 134,12$, $p = 0,15$

¹⁵ Estadística desagregada: $\beta_3(z_4=0) = (0,31 \pm 0,07)$; y la diferencia en los coeficientes de la regresión entre dos condiciones es $[\beta_3(z_4=0) - \beta_3(z_4 \neq 0)] = (0,11 \pm 0,05)$ (z -value=2.13, $p < 0.05$); Hosmer – Lemeshow Test (120 groups): $\chi^2 = 118,20$, $p = 0.48$

¹⁶ Estadística desagregada: $[\beta_3(z_2=0) - \beta_3(z_2 \neq 0)] = (-0,04 \pm 0,05)$ (z -value=-0.72, $p=0.47$); Hosmer – Lemeshow Test (120 groups): $\chi^2 = 118,20$, $p = 0.48$

descansa en información parcial del estímulo) a una estrategia exacta (resolviendo la operación completa) dependiendo del contexto temporal impuesto para la tarea.

Para examinar esta hipótesis, hemos realizado un quinto experimento en el que los dos valores de SOA más largos de los experimentos previos ([550, 700] ms) fueron puestos en un contexto de SOAs aún mayores ([1000, 1250] ms). El desempeño en los dos valores de SOA compartidos (sombra amarilla en la Figura 4.4.3D) resultó significativamente mayor cuando es evaluado en un contexto de SOAs más largos que de SOAs más cortos, confirmando nuestra hipótesis de que el contexto de la tarea tiene un efecto en el desempeño global, y es responsable de que se alcance el valor asintótico para SOAs intermedios en el experimento principal (ANOVA con SOA y Contexto como factores, para los valores de SOA compartidos; Contexto ($p < 0.001$), SOA: ($p > 0.5$) e Interacción entre SOA y Contexto: ($p > 0.5$)).

Conclusiones

En esta sección exploramos la habilidad de estimar el resultado de una serie rápida de sumas parciales sobre cantidades presentadas en una notación simbólica o no simbólica. Cambiando el tiempo entre las sumas parciales se logró que el desempeño fuese de casi al azar (a SOAs cortos) hasta casi perfecto (a SOAs largos) en la notación simbólica, pero no tuvo efecto sobre la notación no-simbólica.

Tanto para la notación simbólica como para la notación no-simbólica se pudo observar que, para valores de SOA pequeños, la mayor parte de la decisión estaba basada en la última suma. Este hecho refleja una política LIFO, que es una estrategia muy común en decisiones basadas en representaciones muy ruidosas para evitar la amplificación de errores cometidos en etapas tempranas del cálculo, hacia etapas tardías (von Neumann, 1958). De acuerdo a esta idea, los errores se propagan a través del cálculo, y la contribución de cada sumando a la decisión es una función monótona de su posición ($4 > 3 > 2 > 1$). De esta manera, en la notación no-simbólica, donde los estímulos son naturalmente ruidosos, los primeros sumandos no contribuyen a la decisión, inclusive para la mayor diferencia y los SOAs más largos (Figura 4.4.2B, fila inferior). Esta observación sugiere que la representación no simbólica no es solamente más ruidosa sino más lábil, es decir que es más susceptible a ser sobrescrita por las operaciones siguientes que utilizan el mismo tipo de representación.

La política LIFO aplicada a la resolución de esta tarea establece una predicción que pudimos verificar en un análisis más detallado: El anteúltimo sumando debe ser determinante en la decisión cuando el último no contiene información significativa para la decisión –es decir que es igual a 0–, y su peso no se debe ver afectado si el sumando anterior es igual a cero. Esta observación muestra además que la información individual puede ser extraída inclusive a los SOAs más rápidos. En este sentido también mostramos que el enmascaramiento perceptual no ejerce un rol significativo en la influencia de los primeros sumandos para SOAs cortos ya que: 1) El desempeño no es afectado al incluir una máscara luego del último sumando, y 2) Los participantes podían reportar perfectamente el resultado únicamente del primer sumando si esa era la tarea, inclusive para el menor SOA.

Estudios anteriores han extendido los experimentos de interferencia en tareas dobles a más de dos tareas –o más de dos *targets*–, especialmente en el contexto del pestañeo atencional (AB) (Raymond, *et al.*, 1992). Más allá de las diferencias metodológicas entre el AB y los experimentos presentados en esta sección, algunas teorías desarrolladas para explicar el fenómeno pueden ser útiles para entender

nuestros resultados. Chun y Potter (Chun y Potter, 1995) llevaron adelante un experimento de AB donde se utilizaban tres *targets*, que debían ser reportados, embebidos en una secuencia de distractores. Ellos observaron que la probabilidad de responder sobre un *target* era menor si el *target* anterior había sido correctamente identificado, resultado compatible con las teorías de procesamiento serial discutidas en las secciones previas (Chun y Potter, 1995; Dehaene, Sergent, *et al.*, 2003; Pashler, 1984; Zylberberg, *et al.*, 2009; Zylberberg, *et al.*, 2010), pero se contraponen a nuestras observaciones. Sin embargo, resultados recientes en un experimento donde son presentados muchos *targets* sin que intervengan distractores (Di Lollo, *et al.*, 2005) se mostró que es posible reportar más de dos *targets* sin que el primero imponga restricciones seriales en los siguientes *targets*. De forma interesante, estos experimentos muestran una alta reportabilidad para los últimos *targets* de la secuencia, como se observó en nuestros resultados. Una teoría desarrollada para dar cuenta de estos resultados (Olivers y Meeter, 2008) propone que la iniciación del procesamiento del *target* abre un *evento* que es sólo interrumpido por un distractor. Siguiendo esta propuesta teórica, nuestros resultados pueden estar dando cuenta de la incapacidad de tratar a cada sumando como un evento separado.

En los paradigmas clásicos de AB o PRP, los ítems sucesivos corresponden a distintos eventos, cada uno asociado a una tarea (objetivo) distinta, y el procesamiento central del primer ítem bloquea el acceso del siguiente elemento, resultando en una política de primero-entrada primero-salido (*first-in first-out, FIFO*) (Chun y Potter, 1995; Dux y Marois, 2009; Pashler y Johnston, 1989). Sin embargo, cuando varios ítems son agrupados en un evento común la interferencia desaparece y ambos *targets* son accedidos por igual, por ejemplo en AB, debiendo reportar la sílaba que generan, si son letras, o la suma, si son números, en vez de cada *target* por separado (Ferlazzo, Fagioli, *et al.*, 2007; Ferlazzo, Lucido, *et al.*, 2007). Otro efecto interesante en los experimentos de AB es el *lag 1 sparing*. Este efecto es típicamente presentado como: “cuando el segundo *target* (T2) es presentado a continuación del primero (T1), la probabilidad de reportarlo es mayor –es decir que $P(T2|T1)$ aumenta–”, sin embargo la letra chica dice que en esta situación la probabilidad de reportar T1 – $P(T1)$ – baja y que en los casos en que se le permite al sujeto responder en cualquier orden, entonces reporta haber visto los *targets* en orden indistinto (Chun y Potter, 1995; Ferlazzo, Lucido, *et al.*, 2007). Esta observación apuntaría a que cuando ambos estímulos son considerados dentro del mismo evento quedan al menos en igualdad de condiciones. En nuestros experimentos, no dos sino cuatro estímulos deben ser considerados para completar el objetivo, es posible que en estos casos jueguen un rol limitante otras capacidades asociadas a la tarea, como la memoria de trabajo dando lugar a una política LIFO.

En este punto una consideración debe ser tenida en cuenta, para asegurarnos que la suma total no resultase en números muy grandes, cada sumando era el resultado a su vez de una resta de dos números presentados a ambos lados del campo visual. Esta operación extra puede competir por recursos con la operación global resultando en una degradación del resultado de los primeros sumandos, hecho que no ocurre cuando ambos estímulos son iguales y la operación puede ocurrir a otro nivel. En el futuro, sería interesante estudiar otros experimentos similares en los cuales los sumandos involucren una única ubicación en el espacio (y no impliquen operaciones extra), para determinar si esta política LIFO surge de la incapacidad de acceder y operar con la información desde diferentes ubicaciones espaciales.

Nuestro experimento explora la dinámica de una toma de decisiones, en la cual los elementos de la decisión son presentados en una sucesión temporal. Los parámetros del experimento varían de tal manera que para valores de SOA grandes y presentaciones simbólicas, el cálculo es preciso y está basado en reglas como es

característico del pensamiento consciente. Mientras que, para valores de SOA pequeños o para representaciones no-simbólicas, la baja capacidad del pensamiento consciente se vuelve determinante. Bajo estas circunstancias, las deliberaciones no conscientes basadas en reconocimiento de patrones pueden volverse más efectivas (Dijksterhuis, *et al.*, 2006). Resulta interesante que los sujetos no están al tanto de la marcada tendencia a recaer sobre el último ítem para tomar la decisión en situaciones ruidosas (para SOAs cortos o notación no-simbólica). Aunque se requerirá mayor exploración formal, el reporte subjetivo de los participantes fue que en esas situaciones simplemente adivinaban, es decir deliberaban sin conciencia –aquí es importante destacar que se descartó el enmascaramiento perceptual como mecanismo detrás de la estrategia LIFO–. Nuestros resultados sugieren que en la deliberación inconsciente (Dijksterhuis, *et al.*, 2006) el último elemento debería tener mayor peso en un proceso de decisión.

4.5. La unidad del análisis de una escena visual: Procesamiento de información a lo largo de una fijación.

Métodos específicos

Adquisición de datos de seguimiento ocular

En un caso se adquirió la posición del ojo con los parámetros descritos en Métodos generales (Binocular). En el resto de los sujetos/experimentos se registró en una configuración Monocular. En ese único caso se chequeó que ambos registros arrojaran los mismos resultados.

Detección del movimiento

La detección de sacadas se realizó con el algoritmo automático de EyeLink, utilizando los parámetros por defecto para experimentos psicofísicos. Los resultados no cambian si se utilizan los parámetros por defecto para experimentos Cognitivos (umbrales más altos de velocidad y aceleración con los que se dejan de detectar sacadas pequeñas). En nuestro caso deseábamos obtener patrones de movimiento robustos, y similares a los realizados en otras situaciones, por lo que se realizó un esfuerzo en descartar los ensayos que no correspondían con el movimiento deseado.

Control del movimiento ocular

Siguiendo los objetivos de este trabajo los movimientos oculares fueron controlados de forma de obtener dos sacadas y una única fijación en el centro. Los sujetos fueron entrenados en esta tarea y aún así una vez finalizado el experimento, en una primera etapa de análisis, se rechazaron los ensayos que no seguían el patrón deseado. En promedio se rechazaron más de un 50% de los ensayos por sujeto, y 10 de 46 sujetos/experimento fueron descartados por tener menos de 50 ensayos luego de aplicar los filtros (ver sección Rechazo de ensayos por el movimiento ocular).

Para lograr este movimiento controlado el ensayo sigue una secuencia de pasos (Figura 4.5.1A):

Paso 0: Empieza el ensayo y el sujeto debe fijar en el cuadrado de la izquierda en rojo.

Paso 1: El sujeto debe mantener la fijación en el cuadrado de la izquierda en rojo y comienzan a pasar números en el centro de la pantalla.

Paso 2: El sujeto debe mantener la fijación en el cuadrado de la izquierda en amarillo y continúan los números en el centro.

Paso 3: El cuadrado de la izquierda se pone en verde y comienzan a pasar las letras en el centro. El sujeto tiene 840 ms para llegar al cuadrado de la derecha pasando por el centro.

Paso 4: Cuando el sujeto llega al cuadrado de la derecha se corta la secuencia de letras y cambia la pantalla a la de respuesta, que es distinta para cada experimento (ver la sección específica de cada experimento). Y en el caso del Experimento 4 continúan pasando letras durante 200 ms y luego aparece la pantalla de respuesta.

Si el sujeto no mantenía la fijación en los pasos 0, 1 y 2 se perdía el ensayo. Al igual que si no lograba llegar al cuadrado de la derecha en menos de 840 ms. Cada sesión concluía luego de completar exitosamente un número de ensayos estipulado (que varió para los distintos experimentos) o luego de haber comenzado el doble del número de ensayos estipulado (independientemente de la cantidad de ensayos completados). Los sujetos realizaban más de una sesión por día, pudiendo descansar entre sesiones.

En el caso que no lograran alcanzar el cuadrado de la derecha en 840 ms recibían como feedback negativo un cartel de fondo rojo que decía: “LENTO! VOLVÉ A INTENTARLO”. Luego del cual el sujeto iniciaba el siguiente ensayo con un clic del mouse.

Los cuadrados de la izquierda y derecha eran de tamaño 30 píxeles. El fondo gris oscuro que se mantuvo constante a lo largo de todo el experimento.

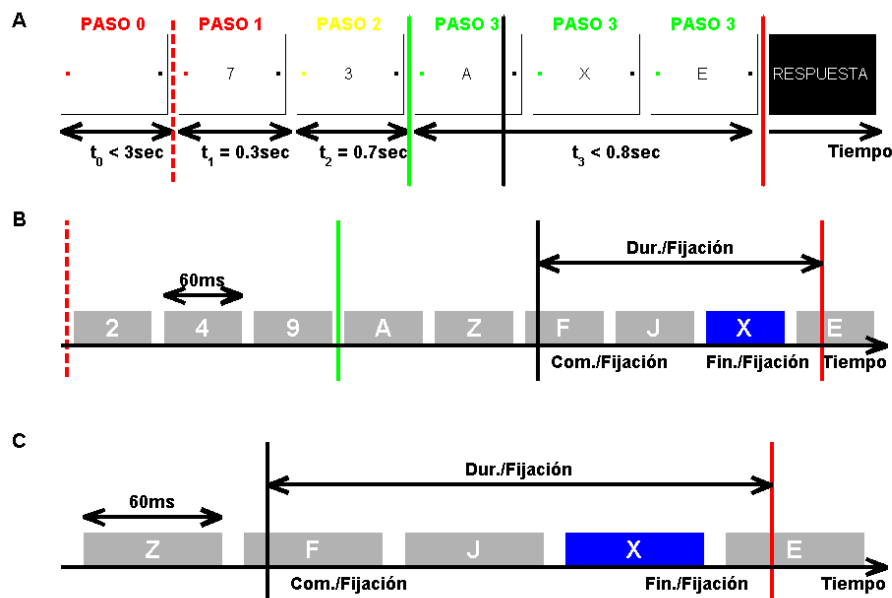


Figura 4.5.1 A) Diseño experimental (ver detalles de la secuencia de pasos en Métodos Específicos de esta sección). B) En cuanto el sujeto fijaba los ojos (línea punteada roja), durante 1 seg pasaban números en el medio que el sujeto no era capaz de reportar, el verde era la señal para mover los ojos (línea verde) y el sujeto tardaba alrededor de 180 ms en comenzar el movimiento y otros 60 en llegar al medio (línea negra). El sujeto volvía a mover desde el medio al final (línea roja sólida) y en cuanto llegaba terminaba el ensayo. C) Ampliación sobre la fijación

Estímulos

En todos los casos los estímulos fueron letras presentadas en gris claro sobre el fondo gris oscuro. Las letras eran presentadas por 60 ms, con un tiempo entre estímulos (ISI) de 10 ms. Las secuencias de letras fueron generadas mezclando las letras del abecedario para cada ensayo, es decir que no había letras repetidas dentro de un ensayo.

Experimento 1 (E1)

Participantes

En este experimento participaron 6 sujetos ('EN', 'JC', 'JM', 'JN', 'NG', 'YV'). Todos son estudiantes de grado o posgrado (5 hombres, 1 mujer) y afirmaron tener visión normal o corregida. La edad de los sujetos es (23.5 ± 2.4) años. Todos los participantes completaron exitosamente 300 ensayos. Para analizar los datos de un sujeto, se puso como condición que tuvieran al menos 50 ensayos con una única fijación en la zona central de la pantalla. Otros 3 participantes no cumplieron esa condición ('CT', 'MG', 'VA') y fueron descartados del análisis.

Tarea

La tarea implicaba reportar la aparición de un *target* (la letra X) con una respuesta binaria forzada. Luego sobre una barra horizontal, los participantes debían realizar un reporte continuo sobre la confianza en dicha respuesta. El extremo izquierdo (derecho) significaba: "100% seguro de que NO (SI) está la X". El centro de la barra indicaba el 0% de seguridad sobre la presencia o ausencia del *target*. Ambas respuestas fueron solicitadas en ese orden al final de todos los ensayos.

Sobre la secuencia de letras base descrita anteriormente se incluyó la X entre las posiciones 2 y 12, es decir entre los 70 y 770 ms luego de que el cuadrado de la izquierda se pusiera en verde. Se completaron 286 ensayos con la X más 14 en los que no estaba la X, en dos sesiones. Las posiciones del *target* fueron balanceadas a lo largo de todo la sesión. El tiempo total del experimento varió sensiblemente de acuerdo al desempeño de cada sujeto.

Experimento 2 (E2)

Participantes

En este experimento participaron 6 sujetos ('FD', 'JCA', 'JC', 'JN', 'NG', 'YV'). Todos son estudiantes de grado o posgrado (5 hombres, 4 mujeres) y afirmaron tener visión normal o corregida. La edad de los sujetos es (23.7 ± 2.4) años. Todos los participantes completaron exitosamente 300 ensayos. Para analizar los datos de un sujeto, se puso como condición que tuvieran al menos 50 ensayos con una única fijación en la zona central de la pantalla. Otros 3 participantes no cumplieron esa condición ('AN', 'BL', 'LA') y fueron descartados del análisis.

Tarea

Se requería responder una única letra que haya visto. La respuesta era realizada con el mouse sobre un teclado presentado en el centro de la pantalla al llegar al cuadrado de la derecha, para evitar que el sujeto baje la vista hacia el teclado. Esta tarea implicaba que si el sujeto veía más de una debía elegir la que estuviese más seguro (ver también Experimento 3). El tiempo máximo de respuesta era de 3.5 segundos, luego de los cuales desaparecía el teclado.

En el caso que la respuesta sea errónea, es decir si contestaron una letra que no había aparecido, o viceversa, aparecía un cartel rojo de "TE EQUIVOCASTE: PRESIONA LA BARRA PARA CONTINUAR". Y en los ensayos con respuesta correcta aparecía un cartel de fondo verde de: "BIEN: PRESIONA LA BARRA PARA CONTINUAR". Luego de los cuales el sujeto iniciaba el siguiente ensayo con un clic del mouse.

Experimento 3 (E3)

Participantes

En este experimento participaron 9 sujetos ('AP', 'CT', 'EA', 'ES', 'JN', 'MC', 'MY', 'SS', 'VA'). Todos son estudiantes de grado o posgrado (3 hombres, 6 mujeres) y afirmaron tener visión normal o corregida. La edad de los sujetos es (24.4 ± 2.1) años. Todos los participantes completaron exitosamente 300 ensayos. Para analizar los datos de un sujeto, se puso como condición que tuvieran al menos 50 ensayos con una única fijación en la zona central de la pantalla. Otros 3 participantes no cumplieron esa condición ('FD', 'SL', 'YV') y fueron descartados del análisis.

Tarea

Se requería responder todas las letras que hayan visto. La respuesta era realizada con el mouse sobre un teclado presentado en el centro de la pantalla al llegar al cuadrado de la derecha, para evitar que el sujeto baje la vista hacia el teclado. Las indicaciones incluían que en lo posible respondiesen en el orden correcto. El tiempo máximo de respuesta era de 3.5 segundos, luego de los cuales desaparecía el teclado.

En el caso que la respuesta sea errónea, es decir si contestaron una letra que no había aparecido, aparecía un cartel rojo de "TE EQUIVOCASTE: PRESIONA LA BARRA PARA CONTINUAR". Y en los ensayos con respuesta correcta aparecía un cartel de fondo verde de: "BIEN: PRESIONA LA BARRA PARA CONTINUAR". Luego de los cuales el sujeto iniciaba el siguiente ensayo con un clic del mouse.

Experimento 4 (E4)

Participantes

En este experimento participaron 12 sujetos ('BL', 'EN', 'ES', 'JA', 'JC', 'JCA', 'JN', 'ME', 'MH', 'NG', 'SS', 'YV'). Todos son estudiantes de grado o posgrado (3 hombres, 6 mujeres) y afirmaron tener visión normal o corregida. La edad de los sujetos es (23.1 ± 2.5) años. Todos los participantes completaron exitosamente 828 ensayos. Para analizar los datos de un sujeto, se puso como condición que tuvieran al menos 150 ensayos con una única fijación en la zona central de la pantalla. Otros 4 participantes no cumplieron esa condición ('AC', 'JU', 'LP', 'VA') y fueron descartados del análisis.

Tarea

En este caso el diseño varió levemente. Los pasos 0 a 4 fueron exactamente iguales, pero una vez que se llegaba al último punto, ahí también se encontraba otra secuencia de letras que era presentada por 200 ms más antes de que apareciese la pantalla de respuesta - a lo sumo 4 letras contando que una estuviese presente al llegar y otra llegase a presentarse interrumpida al final -. Ambas secuencias de hecho comenzaban juntas y estaban sincronizadas. La tarea era detectar una X y una Y dentro de las dos secuencias de letras. La X siempre era presentada en la posición del medio, mientras que la Y era presentada siempre después de la X, tanto en la posición del medio como en la de la derecha. Se balancearon las posiciones en que era presentada la X, así como las posiciones relativas entre la X y la Y (*lags*, *lag 1* corresponde a la letra siguiente a la X) e igual cantidad de presentaciones de Y en la posición del medio y de la derecha.

Las respuestas fueron realizadas de forma binaria para la X y continua para la Y –ver detalle del Experimento 1–. El orden en que aparecían las pantallas de respuesta variaba aleatoriamente entre ensayos.

Rechazo de ensayos por el movimiento ocular

Los ensayos fueron rechazados con dos criterios basados en la posición horizontal del ojo, la posición vertical no varió significativamente del centro de la pantalla a lo largo de los experimentos:

- 1) Debían poseer una única fijación en el centro de la pantalla ([412 612] píxeles) (Figura 4.5.2).
- 2) No debían poseer fijaciones intermedias: Fundamentalmente la sacada luego de la fijación central debía finaliza más allá de los 800 píxeles (Figura 4.5.2).
- 3) Luego de la depuración automática se realizó una inspección visual de todos los ensayos descartando los casos que presentaban fijaciones cortas no detectadas dentro de las sacadas.

Es importante destacar que si bien se descartó un porcentaje alto de los ensayos, todos los criterios fueron basados en buscar el movimiento deseado, emulando los tiempos de las fijaciones en situaciones naturales. Y en ningún caso a partir de los estímulos o las condiciones presentadas, sin embargo se observaron luego los ensayos descartados y presentaban patrones similares a los resultados obtenidos con los ensayos aceptados, fundamentalmente había igual distribución de letras vistas en la sacada para los ensayos aceptados y descartados.

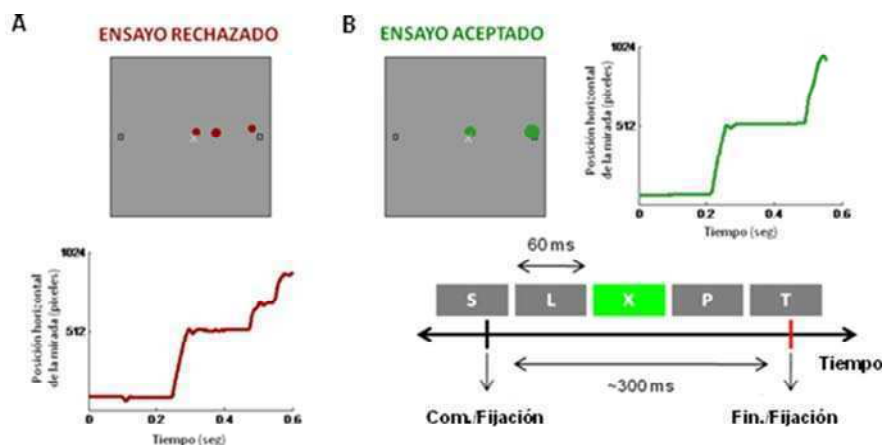


Figura 4.5.2 A) Ejemplo de un ensayo rechazado, en este caso por tener una fijación intermedia. En el panel superior se muestra una pantalla típica con la posición del ojo, y en el panel inferior se muestra sólo la posición horizontal. B) Ejemplo de un ensayo aceptado. En el panel superior izquierdo se muestra una pantalla típica con la posición del ojo, en el panel superior derecho se muestra sólo la posición horizontal, y en el panel inferior un ensayo típico como en la figura 4.5,1C.

Consideraciones generales del análisis de los datos

Para estimar la fracción de ensayos con un *target* (E1,4) o una letra (E2,3), presentada o identificada, a un tiempo dado surgía la disyuntiva de determinar cuál era el tiempo de presentación del estímulo dado que este se mantenía presente por 60 ms. En ese punto se utilizó un criterio conservador al determinar estos tiempos como: La desaparición del estímulo cuando se alineaban los tiempos al comienzo de la

fijación, y la aparición del estímulo cuando se alineaban los tiempos al final de la fijación. Este criterio es conservador en el sentido que cuando determinamos el comienzo de la ventana de acceso a la información, lo hacemos alineando al comienzo de la fijación y por lo tanto estamos seguros de que tuvo a su disposición todo el estímulo; si tomásemos el criterio inverso, de utilizar el comienzo del estímulo en los casos en que se alinea al comienzo de la fijación podríamos llegar a la conclusión de que hay visibilidad en la sacada, aunque sean un conjunto pequeño de ensayos por un tiempo corto, pero la realidad sería que en esos casos quizá menos del 15% del estímulo estaba dentro de la sacada y el resto –tiempo suficiente para identificarlo– estaba en la fijación. Criterios intermedios también serían válidos pero igual de arbitrarios. Al alinear al final de la fijación se utilizó la aparición del estímulo siguiendo la misma lógica.

Para el cálculo tanto de las fracciones de estímulos presentados o respondidos, como la confianza continua se utilizaron intervalos de 10 ms.

Resultados

Existe mucha bibliografía respecto de la estadística de los puntos de fijación en una gran variedad de situaciones, pero mucho menos y sobre todo más dispersa respecto de los tiempos en que ocurren los eventos dentro de una fijación, como para mencionar algunos –en orden temporal– : 1) Antes de mover los ojos existen una serie de procesos que se pueden englobar como *percepción trans-sacádica* que por un lado estipulan que uno puede adquirir información del siguiente punto al que se van a mover los ojos, pero esta información puede encontrarse alterada (Burr, *et al.*, 2010; Melcher y Colby, 2008; Ross, *et al.*, 2001), sin embargo la mayoría de estos experimentos se realizan presentando estímulos únicamente antes de mover los ojos. 2) Durante el movimiento de los ojos, al menos parte de la información no está accesible mediante un fenómeno denominado *supresión sacádica* (Burr, *et al.*, 1994; Guthrie, *et al.*, 1983; Melcher y Colby, 2008; Ross, *et al.*, 2001; Thiele, *et al.*, 2002; Volkman, 1986). 3) A partir de trabajos en fisiología en monos y en humanos se tarda 45 ms en que la primer información llegué, modulada por propiedades sensoriales, a las primeras etapas de procesamiento (Kirchner, *et al.*, 2009; Roelfsema, *et al.*, 2007; Thorpe y Fabre-Thorpe, 2001) y etapas subsecuentes de categorización recién después de los 100 o 150 ms procesamiento (Liu, *et al.*, 2009; Mormann, *et al.*, 2008; Roelfsema, *et al.*, 2007; Thorpe, *et al.*, 1996; Thorpe y Fabre-Thorpe, 2001). En estos casos la información es presentada durante la fijación, entonces cómo se alteran estos si la información está accesible antes de fijar los ojos aún es una pregunta abierta. 4) Más allá de detectar un estímulo, durante la fijación se pueden llevar a cabo cálculos arbitrariamente complejos, como actualizar probabilidades de encontrar un *target* en función de algoritmos que incluyen muchas ubicaciones en la pantalla y muchos pasos hacia atrás, hasta comprender el sentido de un texto o una imagen. 5) Por último, existen distintos modelos de generación de sacadas, en distintas situaciones, y combinando experimentos en humanos y fisiología invasiva en monos. Y si bien no hay acuerdo en la secuencia de etapas que lleva a la ejecución de una sacada - determinación de cuándo y dónde mover los ojos, periodos lábiles y no-lábiles - (Engbert, *et al.*, 2005; Findlay y Walker, 1999; Nuthmann, *et al.*, 2010; Reichle, *et al.*, 2003; Schall y Thompson, 1999)}, en muchas tareas este proceso puede llevar aproximadamente unos 100 ms.

Poniendo todos estos procesos juntos, no es evidente cual es la arquitectura cognitiva que logra que se sucedan en el marco de una fijación de 250 ms. A lo largo de esta sección presentaré una serie de experimentos que intentan restringir este modelo genérico de arquitectura cognitiva. Exploraremos la detección de un *target*

como una elección binaria forzada y el gradiente continuó de confianza en esta respuesta (*Experimento 1, E1*), la elección libre dentro de una secuencia (*Experimento 2, E2*), la capacidad de la adquisición de información a lo largo de una fijación (*Experimento 3, E3*) y la interacción entre estímulos - y tareas - en una o dos fijaciones (*Experimento 4, E4*)

Consideraciones generales del experimento

En esta serie de experimentos el primer objetivo era metodológico: Se pretendía generar un diseño experimental flexible tal que se pudiese presentar información controlada a lo largo de una fijación con propiedades similares a las de una fijación estándar en situaciones no controladas. Tres detalles experimentales fueron cruciales para cumplir este objetivo:

1) Se entrenó a los sujetos a realizar un movimiento preciso desde el margen izquierdo de la pantalla hasta el medio, y luego hasta el margen derecho, con una única fijación en el medio. Este movimiento debía realizarse en menos de 800 ms. Lo cual generó una distribución de tiempos de fijación típica de situaciones no controladas (media±sem: Experimento 1: (239±71) ms; Experimento 2: (169±43) ms; Experimento 3: (258±77) ms; Experimento 4: (363±97) ms; (Otero-Millan, *et al.*, 2008)) (ver Métodos Específicos de esta sección para los detalles de la tarea en cada experimento).

2) En el punto de fijación central se presentaron una serie de letras que contenían la información necesaria para resolver la tarea, el sentido de estímulos fue utilizar presentaciones discretas, fácilmente cuantificables y por tratarse de estímulos muy conocidos eran fáciles controlar por sus propiedades (tamaño, contraste, frecuencia léxica, vocal o consonante). Se ajustaron algunas de estas propiedades de forma que los estímulos no pudiesen ser vistos desde la periferia, es decir antes de iniciar el movimiento. Prueba de ello es que antes de la secuencia de letras, mientras los sujetos estaban mirando el punto de fijación de la izquierda, aparecía una secuencia de números, los cuales ningún sujeto reportó haber visto (ver Métodos Específicos de esta sección).

3) Si bien se descartó una cantidad importante de los ensayos (ver Métodos Específicos de esta sección) fue con criterios sobre el movimiento y no sobre la información presentada o la respuesta, por lo que no se ven afectadas las conclusiones que son, en todos los casos, explícitamente restringidas al movimiento que se buscó generar: una única fijación embebida entre dos sacadas, y por lo tanto extrapolables a una gran cantidad de situaciones en las que este es el movimiento típico.

Núcleo temporal de visibilidad

En el primer lugar se buscó estimar los límites de la ventana de acceso a la información durante una fijación, para ello se implementó la tarea más simple posible que es detectar un estímulo dentro de la secuencia de estímulos. Específicamente, la tarea fue responder, al final de la secuencia de fijaciones responder si habían visto o no una X (Figura 4.5.1 y Figura 4.5.3A). En este caso la información relevante estaba condensada en ese estímulo y todas las demás letras si bien estaban aleatorizadas eran indistintas y podían ser obviadas.

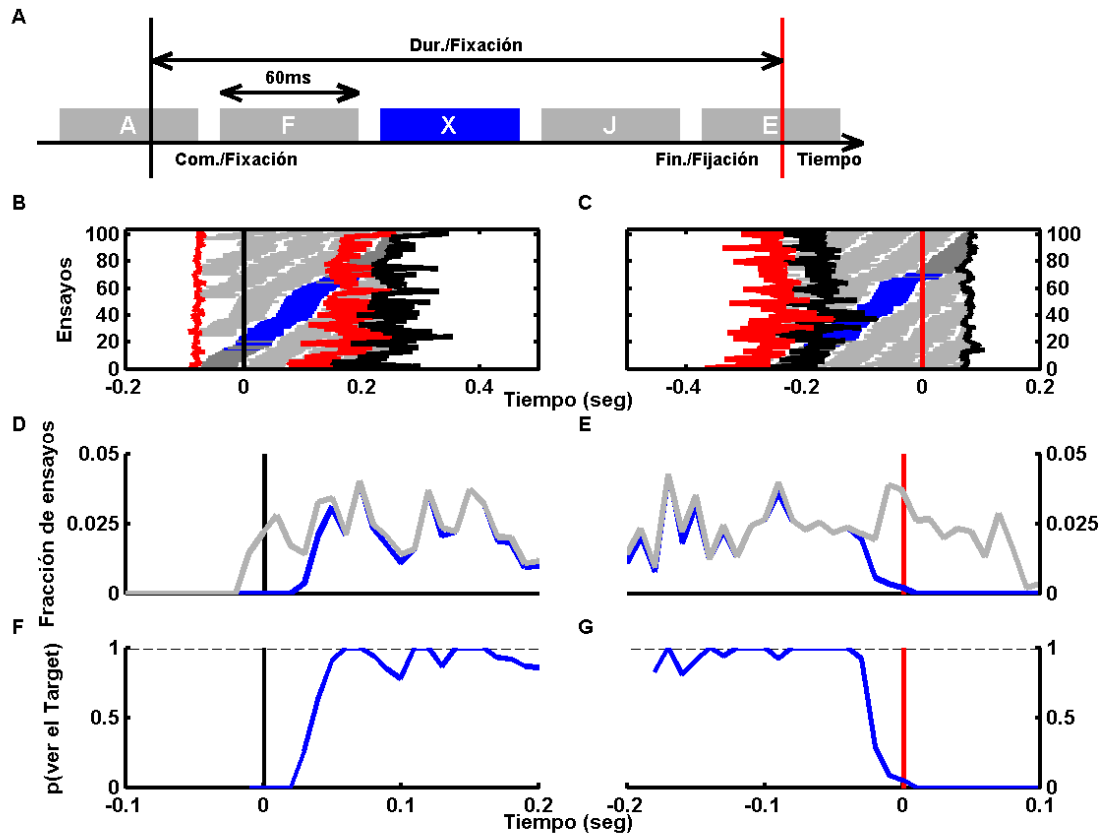


Figura 4.5.3 A) El diseño experimental es similar a la figura 4.5.1C, y en este caso la tarea es detectar la X entre la secuencia de letras. B,C) Ejemplo de todos los ensayos aceptados de un sujeto, los ensayos fueron ordenados por el momento de ver la X y alineados al comienzo (B) o final (C) de la fijación. Las líneas negras marcan el comienzo de una fijación y las líneas rojas el final (al igual que en el panel A), la presentación de cada letra está marcada en gris claro, la de la X cuando no fue vista en gris oscuro y cuando fue vista en azul. D,E) Fracción de ensayos en los que fue presentada (gris) y fue vista (azul) la X, para un dado intervalo de tiempo de 10 ms. En ensayos alineados al comienzo (D) o final (E) de la fijación. F,G) Probabilidad de ver la X calculada como el cociente de las curvas anteriores para cada sujeto y promediado. En ensayos alineados al comienzo (F) o final (G) de la fijación.

La latencia sacádica promedio –el tiempo entre que el semáforo se pone en verde y que se inicia el movimiento– fue de (224 ± 7) ms, las sacadas fueron muy robustas por sujetos, entre sujetos y también entre experimentos dado que son la ejecución de movimiento altamente estereotipado y entrenado $-(66 \pm 3)$ ms–, y la duración de las fijaciones fue de (239 ± 71) ms. Esto implicó que los sujetos completaban el movimiento en 650 ms y de toda la secuencia de letras 3 o 4 letras estaban al menos parcialmente incluidas en el periodo de latencia sacádica, 1 o 2 letras estaban al menos parcialmente incluidas durante las sacadas, y entre 3 y 5 letras estaban al menos parcialmente incluidas en el periodo de latencia sacádica. En la Figura 4.5.3B,C se muestran todos los ensayos seleccionados para el análisis de un sujeto típico, donde las líneas rojas (negras) marcan el comienzo (final) de una sacada, los recuadros grises claros todos los *distractores*, y los recuadros azules (grises oscuros) los *targets* en los casos en que se reportó haberlo visto (no visto). En este ejemplo se puede ver claramente que los targets presentados enteramente durante sacada previa fueron reportados como no vistos (alineando todos los tiempos al comienzo de la fijación central; Figura 4.5.3B), al igual que los presentados enteramente durante la sacada posterior (alineando todos los tiempos al comienzo de la fijación central; Figura 4.5.3C) consistentemente con la bibliografía que propone los

estímulos externos durante las sacas son suprimidos (Burr, *et al.*, 1994; Ross, *et al.*, 2001; Thiele, *et al.*, 2002).

Sorprendentemente, la detección durante la fijación parece comenzar muy temprano y terminar casi con el final de la fijación, cubriendo de forma continua y casi perfecta toda la fijación. Para cuantificar este resultado, estimamos la proporción de ensayos en los que la X había sido detectada por intervalo de tiempo, y la proporción de ensayos en los que la X había sido presentada por intervalo de tiempo - dado que había una variabilidad importante introducida por la poca cantidad de ensayos obtenidos en este tipo de diseños experimentales - (Figuras 4.5.3D,E). Y luego, a partir del cociente de estas dos curvas estimamos la probabilidad de ver un target cuando es presentado a tiempo dado (Figuras 4.5.3F,G). Así se puede determinar que la probabilidad de ver el *target* es 1 después de los 60 ms de comenzada la fijación (Figura 4.5.3F) hasta los 40 ms antes de volver a mover los ojos (Figura 4.5.3G).

Es importante notar igualmente que durante las sacadas adyacentes, si bien hubo targets presentados estos nunca fueron vistos (la línea gris es distinta de cero y la línea azul es igual a cero en la Figura 4.5.3D,C), y que si bien la subida de la probabilidad de ver el *target* es muy abrupta, se alcanzan valores intermedios antes de los 60 ms, es decir cuando la letra fue presentada a medias entre la fijación y la sacada (Figura 4.5.3F; a los 37 ms supera la probabilidad de 0.5). Lo mismo ocurre para la finalización de la fijación (Figura 4.5.3G; a los 23 ms antes del final vuelve a decrecer hasta 0.5).

Resumiendo, encontramos que el núcleo temporal en una tarea de detección se asemeja a una función cuadrada que cubre casi toda la fijación (entre los 60 ms de comenzada la fijación hasta los 40 ms antes de volver a mover los ojos). Estos resultados son coherentes con los tiempos en los que se registran las primeras respuestas diferenciales ante un estímulo en monos y humanos (Kirchner, *et al.*, 2009; Roelfsema, *et al.*, 2007; Thorpe y Fabre-Thorpe, 2001) y con los tiempos de iniciación del programa motor y donde la información se ve degradada por el remapeo (Burr, *et al.*, 2010; Nuthmann, *et al.*, 2010; Ross, *et al.*, 2001).

Asimetrías en el núcleo temporal de visibilidad

Si bien la información adquirida durante esta ventana alcanza para responder correctamente ante una disyuntiva binaria, no necesariamente reviste la misma calidad a largo del tiempo. Para evaluar este punto tomamos dos caminos: En primer lugar les pedimos a los sujetos que, en el mismo experimento anterior, determinen la seguridad en la respuesta binaria que estaban dando; y en segundo lugar realizamos un nuevo experimento (E2) en el que los sujetos debían elegir libremente una letra para reportar (sobre la que se sintiesen más seguros).

Para determinar la seguridad en su respuesta, los sujetos debían responder sobre una barra continua entre "Estoy seguro de que NO estaba la X" (a la izquierda) y "Estoy seguro de que SI estaba la X" (a la derecha), donde el medio representaba que habían respondido al azar, sin seguridad alguna. Para el presente análisis se consideraron sólo las respuestas positivas y se las reescalo al intervalo [0 1] para cada participante, a esta nueva variable la llamamos *Confianza* (Graziano, *et al.*, 2010; Graziano y Sigman, 2009).

Al graficar la *confianza* en función del tiempo de fijación junto la probabilidad de ver el *target* (Figura 4.5.4A) podemos observar como ambas variables siguen un patrón levemente distinto. Mientras que la probabilidad sigue la función cuadrada

descrita anteriormente, la *confianza* es gradual alcanzando el valor máximo cerca del final del núcleo de visibilidad para luego decrecer abruptamente, ahora si junto con la probabilidad. Este gradiente podría estar apuntando a responder por qué si tenemos acceso a la información necesaria a los 60 ms las fijaciones duran más de 200 ms.

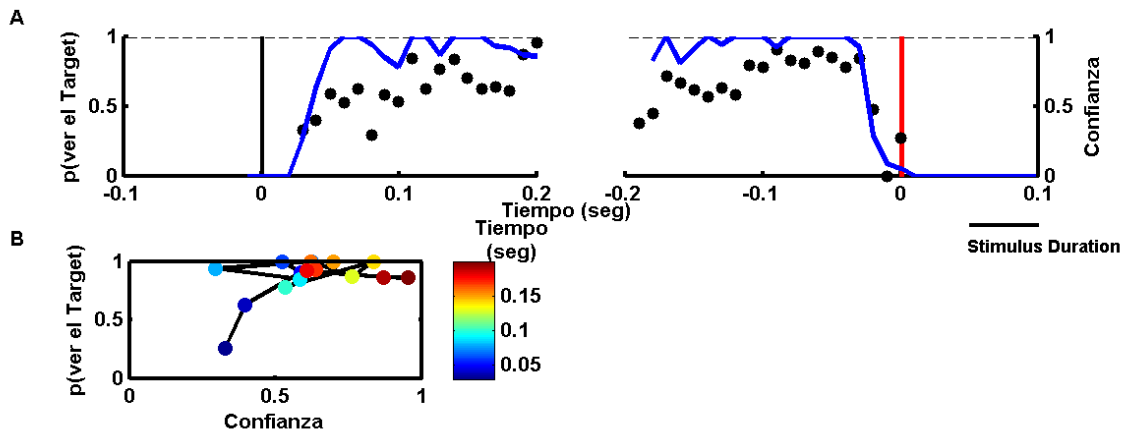


Figura 4.5.4 A,B) La curva azul se corresponde con la figura 4.5.3F,G, mientras que los puntos negros corresponden a la confianza promedio en cada intervalo de tiempo de 10 ms. C) La probabilidad de ver el *target* en función de la confianza, los valores fueron calculados igual que en A,B, pero sólo se muestra la dinámica dentro de la fijación y con el tiempo en código de colores.

Otra forma de ver las diferencias entre la dinámica de ambas variables es graficando la probabilidad en función de la confianza para distintos intervalos a lo largo de fijación. Si ambas fuesen iguales esta curva debería crecer a lo largo de la identidad, mientras que en los datos se acerca rápidamente a probabilidad 1 y luego crece sobre una recta horizontal (Figura 4.5.4B).

En el siguiente experimento exploramos si este gradiente era traducido a una decisión libre sobre el conjunto de estímulos presentados. Dado que la tarea tenía refuerzo en función de si la letra reportada había sido presentada o no, los participantes eran instruidos a responder sobre la letra en la que se sentían más seguros (aunque también era la forma natural de resolver la tarea) (Figura 4.5.5A). En este experimento las duraciones de las fijaciones fueron significativamente más cortas que en el anterior (169 ± 43 ms) (Figura 4.5.5B,C), lo cual era esperable ya que inclusive el primer estímulo observado es suficiente para completar la tarea, por qué de hecho la fijación dura más es una de las preguntas a las que apunta este experimento.

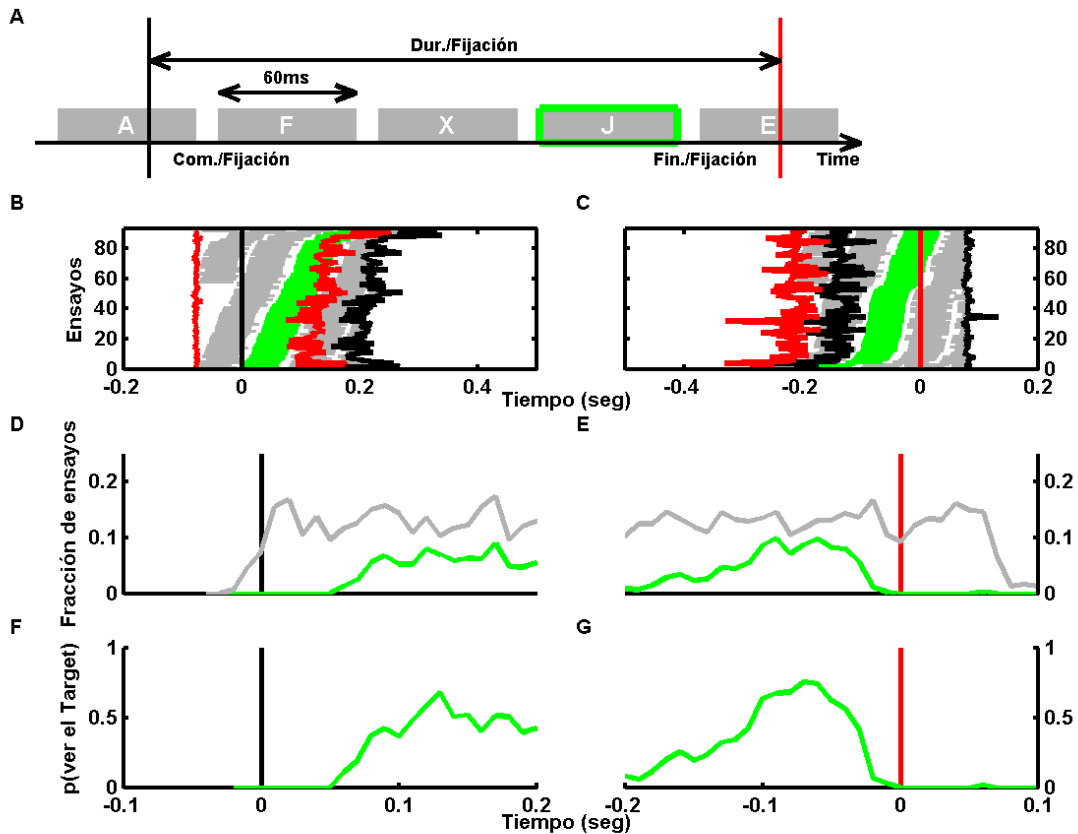


Figura 4.5.5 A) El diseño experimental es similar a la figura 4.5.1C, y en este caso la tarea es reportar una letra dentro de la secuencia. B,C) Ejemplo de todos los ensayos aceptados de un sujeto, los ensayos fueron ordenados por el momento de presentar la letra reportada y alineados al comienzo (B) o final (C) de la fijación. Las líneas negras marcan el comienzo de una fijación y las líneas rojas el final (al igual que en el panel A), la presentación de cada letra esta marcado en gris claro, y la de la letra reportada en verde. D,E) Fracción de ensayos en los que fue presentada una letra en un dado intervalo de tiempo de 10 ms (gris) y que fue reportada la letra presentada (verde). En ensayos alineados al comienzo (D) o final (E) de la fijación. F,G) Probabilidad de reportar la letra presentada en ese intervalo calculada como el cociente de las curvas anteriores para cada sujeto y promediado. En ensayos alineados al comienzo (F) o final (G) de la fijación.

Se realizó un análisis similar al experimento anterior, con la salvedad de que se estimó la fracción de letras presentadas (respondidas) a un tiempo dado, donde todas las letras son potenciales *targets*, y luego se realizó el cociente de las curvas para estimar la probabilidad. Nuevamente es posible observar que no hay letras reportadas que haya sido íntegramente presentadas en la sacada (Figura 4.5.5D,E).

Como se puede observar en la Figura 4.5.5F,G la probabilidad de reportar una letra crece más lentamente que la probabilidad de detectar un target (comparar con Figura 4.5.3F,G) alcanzando un máximo 130 ms luego del comienzo de la fijación u 80 ms antes del final. Este máximo es menor a 1 porque si fuese así estaría indicando que todas las letras presentadas en ese intervalo de tiempo fueron respondidas. Este resultado es compatible con el experimento anterior ya que una letra es elegida, no al azar dentro del núcleo temporal de visibilidad, sino cuando la confianza sobre los estímulos observados en este intervalo alcanza sus valores máximos (Figura 4.5.6).

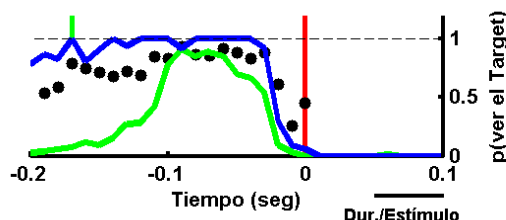


Figura 4.5.6 La curva azul y los puntos negros corresponden a la probabilidad de ver el *target* (Figura 4.5.4B) mientras que la curva verde corresponde a la probabilidad de elegir una letra (Figura 4.5.5G), y la línea vertical verde corresponde a la duración de la fijación promedio en el Experimento 2, la del Experimento 1 no se llega a ver porque es más larga que la ventana presentada.

Este resultado muestra que más allá del proceso mediante el cual un estímulo visual llega a nuestra retina y se transmite a través de las distintas etapas de la vía visual hasta alcanzar el estado abstracto de letra o target –con toda la amplitud que cada concepto involucra– descrito extensamente en la bibliografía para tareas donde los estímulos son presentados en la fóvea (Rolls y Deco, 2002); existen mecanismos que modulan tal proceso robustamente a lo largo de una fijación. Si no fuese así, cualquier letra –completamente incluida en la fijación si se quiere– tendría iguales chances de ser elegida ya que está presente por el mismo tiempo frente a nuestros ojos y seguida siempre por otra letra. Una hipótesis alternativa sería que la secuencia de letras vaya enmascarando sucesivamente las letras presentadas anteriormente, siguiendo esta hipótesis y tomando el resultado de que no se ven letras durante la sacada de forma fuerte, la única letra que no estaría enmascarada sería la última (Ross, *et al.*, 2001) aunque en un trabajo reciente De Pisapia y colaboradores (2010) mostraron que estímulos presentados justo antes de la sacada pueden ser enmascarados por otro estímulo presentado después de la sacada (De Pisapia, *et al.*, 2010). El enmascaramiento explicaría los resultados del Experimento 2, y en el caso del Experimento 1, habría que considerar que este enmascaramiento es más débil ya que con que persista una traza del *target* alcanza para responder a la tarea forzada, aunque la confianza sobre los estímulos enmascarados es menor que sobre los no enmascarados –cuando el *target* es el último estímulo antes de la fijación–, reflejando quizá la fuerza de esa traza (Graziano y Sigman, 2009).

Una última observación en E2 es importante destacar antes de continuar, sobre la que volveremos más adelante, como se vislumbra en el ejemplo de la Figura 4.5.5B, existe una correlación significativa entre el tiempo de la letra reportada y la duración de la fijación (coef. de correlación = 0.72). Este hecho apunta a que existe un plan motor asociado a la percepción de la letra, esta conclusión también es sostenida por el hecho de que el ancho de la distribución alineada al final de la fijación es menor que alineada al principio (Figura 4.5.5F,G; $p < 0.05$; ver Tabla 4.5.1), es decir que la percepción de los estímulos está más asociada la finalización de la fijación que con el comienzo.

Capacidad de adquisición de información durante una fijación

En los experimentos anteriores pudimos observar que los sujetos son capaces de adquirir información a lo largo de toda la fijación, y que la calidad de la información varía a lo largo de la fijación, entonces nos preguntamos cuánta información distinta son capaces de retener en una fijación. En el siguiente experimento (E3; Figura 4.5.7A) las presentaciones eran exactamente iguales a la anterior sólo que en vez de reportar una letra, debían reportar todas las que pudiesen. Es decir que el número de respuestas podía ser variable a lo largo del experimento. Luego de excluir los ensayos

por los movimientos erróneos del ojo (ver Métodos Específicos de esta sección) y por respuestas correctas, sólo hubo ensayos con 1, 2 y 3 respuestas correctas (una respuesta (media±sem): (12±3)%; dos respuestas: (45±7)%; tres respuestas: (43±8)%). Si bien en su mayoría los ensayos fueron de 2 y 3 respuestas, la proporción de 2 y 3 respuestas dentro de cada sujeto varió significativamente, probablemente fruto de su estrategia –es decir del umbral de seguridad con que respondía cada letra–

En la Figura 4.5.7B,C nuevamente se puede observar que no se reportan letras que estén enteramente sobre la sacada, sin embargo parece haber una proporción más alta de letras reportadas en el borde de la fijación - y una parte sobre la sacada. Este hecho, que se confirma al observar las fracciones de letras presentadas y reportadas (Figura 4.5.7D,E para ensayos con dos respuestas, pero los resultados se replican con tres respuestas ver también la Figura 4.5.8), donde se ve que si bien hay letras presentadas en la sacada ninguna es reportada, sin embargo hay una proporción de letras reportadas a menos de 50 ms del comienzo de la fijación (Figura 4.5.7D) y hasta el borde final de la fijación (Figura 4.5.7E).

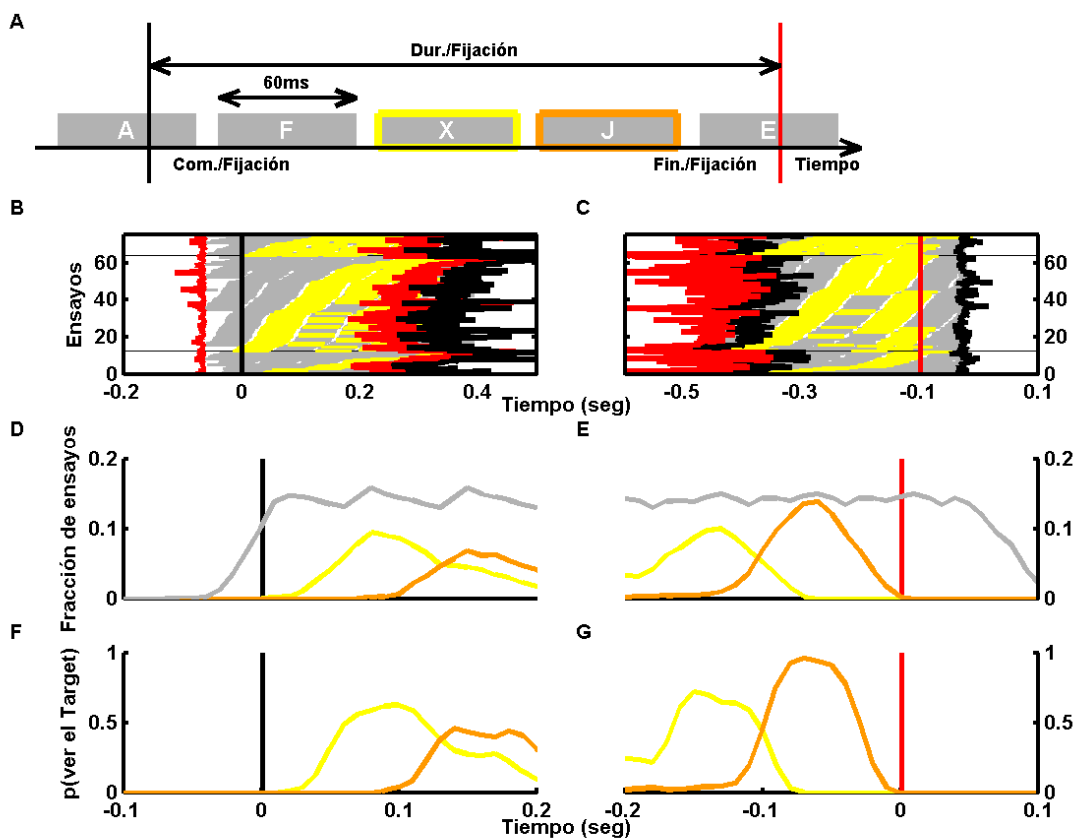


Figura 4.5.7 A) El diseño experimental es similar a la figura 4.5.1C, y en este caso la tarea es reportar tantas letras dentro de la secuencia como sea posible. B,C) Ejemplo de todos los ensayos aceptados de un sujeto, los ensayos fueron ordenados por el momento de presentar la primer letra reportada y alineados al comienzo (B) o final (C) de la fijación, y separados según si respondía una, dos o tres letras. Las líneas negras marcan el comienzo de una fijación y las líneas rojas el final (al igual que en el panel A), la presentación de cada letra está marcada en gris claro, y la de la letra reportada en verde. D,E) Fracción de ensayos en los que fue presentada una letra en un dado intervalo de tiempo de 10 ms (gris) y que fue reportada la primer (amarillo) o segunda (naranja) letra presentada, en los casos en que se reportaron dos letras. En ensayos alineados al comienzo (D) o final (E) de la fijación. F,G) Probabilidad de reportar la letra presentada en ese intervalo calculada como el cociente de las curvas anteriores para cada sujeto y promediado. En ensayos alineados al comienzo (F) o final (G) de la fijación.

Por otro lado, la probabilidad de reportar una letra cubre toda la fijación (considerando ambas curvas en la Figura 4.5.7F,G). Estudiando la primer y segunda respuesta por separado encontramos que, mientras que la segunda está claramente asociada al final de la fijación como lo indica la comparación de las varianzas de la distribución alineada al comienzo y al final ($p < 0.05$; ver Tabla 4.5.1), la primera está menos definida ($p > 0.05$; ver Tabla 4.5.1). Estos mismos resultados se replican con 3 respuestas.

	Ancho del rango entre cuartiles (promedio \pm s.e.m.) (seg)		t-test pareado		
	Alineadas al comienzo	Alineadas al final	d.f.	t	p
Experimento 1					
P(X)	0.197 \pm 0.011	0.202 \pm 0.011	5	-0.58	>0.05
Experimento 2					
P(1)	0.064 \pm 0.005	0.052 \pm 0.005	8	3.81	<0.05
Experimento 3					
P(2,1)	0.053 \pm 0.012	0.058 \pm 0.012	8	-1.34	>0.05
P(2,2)	0.051 \pm 0.012	0.031 \pm 0.012	8	2.59	<0.05
P(3,1)	0.047 \pm 0.006	0.058 \pm 0.006	8	-1.40	>0.05
P(3,2)	0.068 \pm 0.009	0.063 \pm 0.009	8	0.67	>0.05
P(3,3)	0.068 \pm 0.007	0.047 \pm 0.007	8	3.16	<0.05

Tabla 4.5.1: Se consideraron todos los sujetos en todos los casos, para cada sujeto se estimó el intervalo entre cuartiles del tiempo de la letra respondida alineada al inicio y al final de la fijación, y se calculó el ancho de este intervalo (expresado en la tabla como (promedio \pm s.e.m.) entre sujetos). Luego se realizó un t-test pareado entre los dos alineamientos para todos los sujetos.

De hecho, es interesante observar que los ensayos con 2 y 3 respuestas difieren significativamente en la duración de las fijaciones (237 \pm 49 ms y 297 \pm 54 ms respectivamente), pero no las distribuciones de las letras reportadas. Es decir que las distribuciones para la última letra reportada para 2 y 3 respuestas no difieren significativamente alineadas al final (Figura 4.5.8B y Tabla 4.5.2) pero si alineadas al comienzo de la fijación (Figura 4.5.8A y Tabla 4.5.2), por lo que la última letra parece estar siempre asociada la respuesta motora. Por otro lado, la primera letra de 2 y 3 respuestas mostró un patrón inverso (Figura 4.5.8C,D y Tabla 4.5.2) sugiriendo que se encuentra asociada al comienzo de la fijación. Pero de forma muy interesante la primera letra de 2 respuestas y la segunda letra de 3 respuestas - es decir la anteúltima en ambos casos - mostraron un patrón similar al de la última letra, con diferencias alineados al comienzo y sin diferencias alineados al final de la fijación (Figura 4.5.8C,D y Tabla 4.5.2). Poniendo estos resultados juntos podrían indicar que la secuencia de procesos dentro de la fijación está estipulada de principio a fin, donde cada letra consume en realidad un tiempo mayor a la propia presentación, y que dependiendo de la duración de la fijación el reporte llega a ser de 2 o 3 letras. Es decir que siempre se pierden 1 o 2 letras de las presentadas, que nunca son la última pero no necesariamente es la primera, segunda, tercera, etc. Aunque existe una tendencia a reportar la anteúltima letra presentada más que la antepenúltima, significativa en el caso de dos respuestas (t-test pareado entre la probabilidad de responder la anteúltima y la antepenúltima letra presentada: $p < 0.05$, $t = 2.79$, $d.f. = 8$; $P(\text{anteúltima}) = 0.61 \pm 0.08$; $P(\text{antepenúltima}) = 0.26 \pm 0.08$) pero no en el de tres respuestas (t-test pareado entre la probabilidad de responder la anteúltima y la antepenúltima letra presentada: $p > 0.05$, $t = 0.71$, $d.f. = 8$; $P(\text{anteúltima}) = 0.15 \pm 0.03$; $P(\text{antepenúltima}) = 0.14 \pm 0.04$).

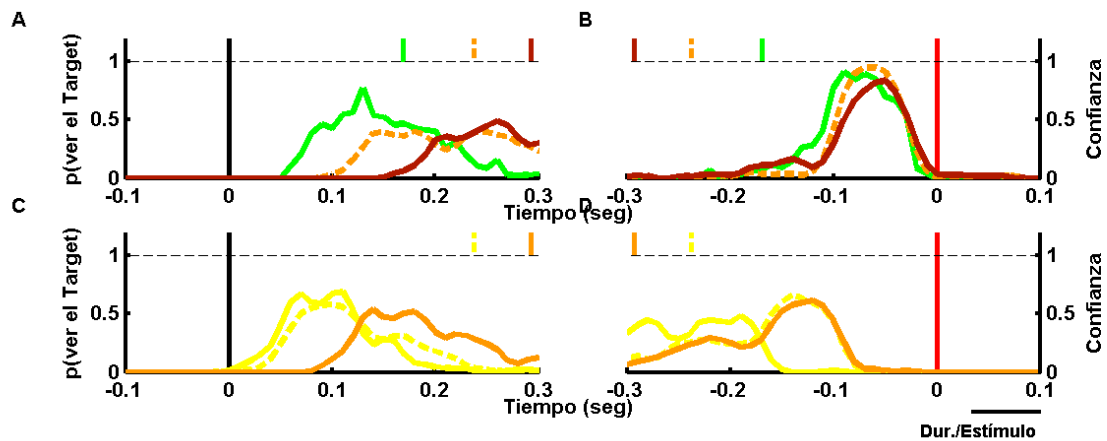


Figura 4.5.8 A,B) Probabilidad de reportar la letra presentada, para el caso en que se debía reportar una única letra (Experimento 2, línea verde), o para la última letra reportada en el caso de dos (Experimento 3, línea naranja puntada) y tres (Experimento 3, línea marrón) letras. C,D) Probabilidad de reportar la letra presentada, para la primer letra reportada en el caso de dos (Experimento 3, línea amarilla puntada) y tres (Experimento 3, línea amarilla sólida) letras, y la segunda letra reportada en el caso de tres (Experimento 3, línea naranja sólida) letras. Notar que la primer letras en el caso de dos letras reportadas y la segunda en el caso de tres, son a su vez la anteúltima en ambos casos. En ensayos alineados al comienzo (A,C) o final (B,D) de la fijación. Las líneas verticales arriba de cada panel representan las duraciones promedio de las fijaciones en cada condición.

	Alineadas al comienzo		Alineadas al final	
	CI(95%)	sesgo	CI(95%)	sesgo
P(2,1) vs P(3,1)	[0.89 0.97]	-0.0020	[0.02 0.46]	0.0136
P(2,1) vs P(3,2)	[0.24 0.65]	0.0070	[0.96 0.99]	-0.0006
P(2,2) vs P(3,3)	[0.34 0.75]	-0.0028	[0.96 0.99]	-0.0008

Tabla 4.5.2: Los intervalos de confianza (95%) y el sesgo del coeficiente de correlación entre las dos distribuciones fueron estimados tomando 10000 con un método de *bootstrapping*.

Interacción entre eventos en una o dos fijaciones

Si bien en el experimento 2, la probabilidad de reportar cualquier letra era de 1/26 y no se hallaron tendencias significativas ni por frecuencia léxica ni por vocal/consonante o simétricas/asimétricas, en el experimento 3 se observó una tendencia a incluir vocales en los tripletes reportados. Este hecho sugiere que existe cierto procesamiento –más complejo que el simple almacenamiento y posterior evocación– de la información durante la fijación, y aunque la tarea sea tratar todas las letras como independientes probablemente los sujetos generen conjuntos (*chunks*) que se pueden recordar como un todo. Estos conjuntos pueden: 1) Generarse espontáneamente pero independientemente de estar embebidos en una fijación, 2) ser generados por el sujeto como estrategia consciente –aunque ninguno haberlo hecho–, o 3) estar englobados, junto con todo lo percibido durante la fijación, en un evento en el sentido que lo propone Ferlazzo y colaboradores (Ferlazzo, Fagioli, *et al.*, 2007; Ferlazzo, Lucido, *et al.*, 2007) para la pestañeo atencional, que se cierra al final de cada fijación y no con la detección de cada letra.

El siguiente experimento tiene por objetivo evaluar la última posibilidad con un experimento de pestañeo atencional en una o dos fijaciones. Los estímulos en los diseños clásicos de pestañeo atencional son muy similares a los experimentos anteriores, donde una secuencia de objetos –letras o números típicamente– es

presentada en el punto de fijación, con tiempos entre estímulos de entre 60 y 120 ms (Chun y Potter, 1995; Raymond, *et al.*, 1992). Dentro de esa secuencia es necesario detectar dos *targets*, e independientemente de cuan salientes sean esos *targets* el resultado principal es que una vez que se detecta el primero, el segundo no puede ser detectado por un intervalo de entre 200 y 500 ms. Existen varios modelos que intentan explicar este resultado (Dux y Marois, 2009; Zylberberg, *et al.*, 2009), la explicación simple más aceptada es que existen recursos que quedan comprometidos con el procesamiento del primer *target* (o evento) y no pueden utilizarse para el segundo. Estudios recientes de Ferlazzo y colaboradores (Ferlazzo, Fagioli, *et al.*, 2007; Ferlazzo, Lucido, *et al.*, 2007) muestran que si los dos *targets* son parte de la misma tarea (u objetivo) - por ejemplo reportar "doce" o "tres" en vez de "uno" y "dos" - entonces no hay *pestañeo atencional*, esto estaría indicando que no es el estímulo o el tiempo el que abre o cierra la "ventana atencional" en la que no puede ser procesado el segundo *target* sino la finalización de una tarea, que cumpliría el rol del "evento atencional". En el experimento que sigue nos preguntamos cuando estas propiedades que estudiamos hasta ahora están asociadas a un único evento atencional –que comienza y finaliza con la fijación–, o si la secuencia de sacadas y fijaciones no interactúa con dicho eventos. Este es un primer paso para unir dos campos disociados de las neurociencias cognitivas, aplicando métodos de la psicología experimental clásica sobre el estudio de integración de información en escenarios naturales, por ejemplo: "cuando miramos una cara e intentamos determinar quién es, realizamos una serie de fijaciones, cada una enfocada sobre una porción de la imagen pero todas con un objetivo común. En esta situación cada fijación abre y cierra una ventana atencional y debemos estudiar el pasaje de información entre esos eventos, o por el contrario, todas están incluidas en la misma ventana atencional asociada a un proceso que corre independiente de las sacadas y fijaciones".

La tarea de los sujetos en este caso era detectar la X (al igual que en el experimento 1), y luego detectar una Y que podía estar en el mismo punto de fijación central, o en una secuencia de letras presentada en el punto de fijación de llegada a la derecha (Figura 4.5.9A y ver Métodos Específicos para más detalles). En las Figura 4.5.9B,C,D,E se muestra un ejemplo, en este se puede ver que el patrón de respuestas a la X es más irregular que en el Experimento 1 (Figura 4.5.3B,C), con muchas no detectadas dentro de la fijación y algunas detectadas fuera. De la misma forma se pueden identificar ensayos en los que respondió haber visto la Y fuera de la fijación –sobre todo para cuando era presentada en la segunda fijación (Figura 4.5.9C)–. Este patrón es igualmente esperable en un experimento de pestañeo atencional clásico.

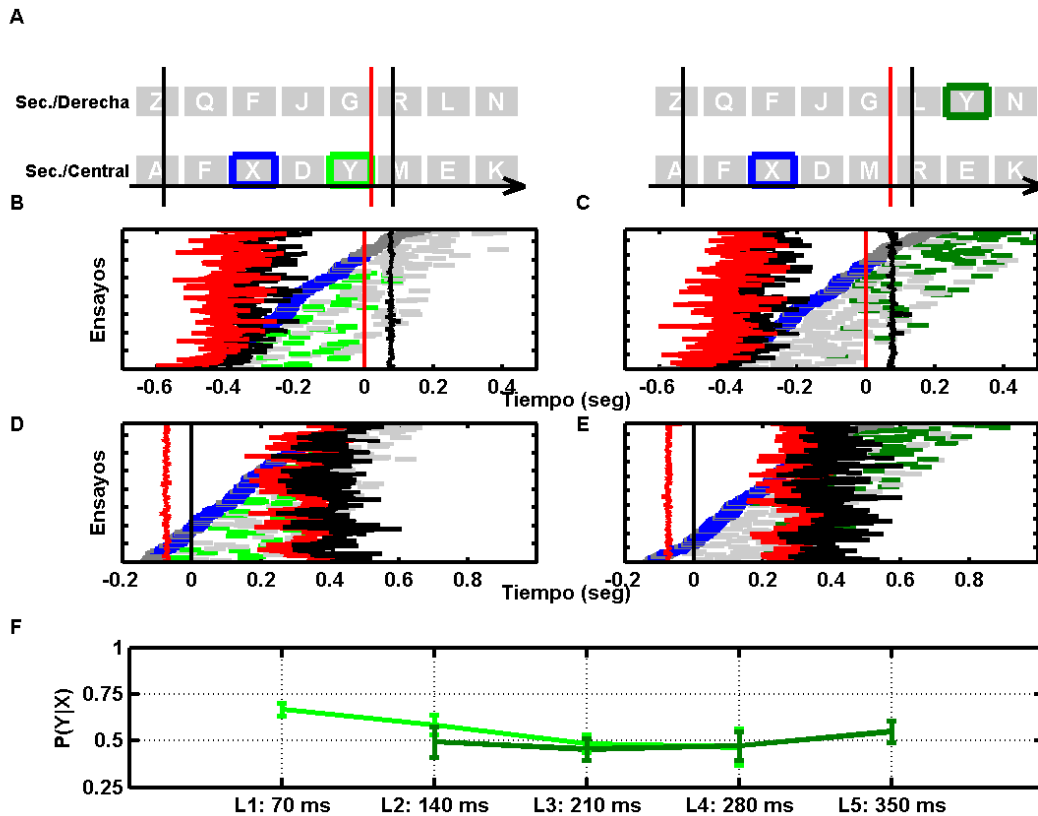


Figura 4.5.9 A) El diseño experimental es similar a la figura 4.5.1C, sólo que en este caso hay una secuencia de letras adicional que se presenta en el punto de la derecha. Una vez que el sujeto llega a ese punto el programa espera 200 ms antes de cambiar a la pantalla de respuesta. En la secuencia central se presenta siempre el primer *target* (X), y en la misma (panel izquierdo) o en la nueva secuencia de la derecha (panel derecho) se presenta el segundo *target* (Y). Se debe reportar la presencia de cada *target*. B,C,D,E) Ejemplo de todos los ensayos aceptados de un sujeto, los ensayos fueron ordenados por el momento de presentar la letra X reportada (azul) o no reportada (gris oscuro) y alineados al comienzo (D,E) o final (B,C) de la fijación. Las presentaciones del segundo *target* reportadas (verdes) y no reportadas (gris claro) fueron separadas según si fue en la secuencia central (B,D) o en la derecha (C,E). F) Curva de ceguera atencional: Se presenta la probabilidad de reportar correctamente la Y dado que se reportó la X para distintos valores de la posición relativa en la secuencia (*lag*) y según si fue presentado en la secuencia central (verde claro) o a la derecha (verde oscuro)

A continuación nos concentramos en los ensayos en los que la X había sido detectada dentro de la fijación, y estimamos la probabilidad de ver la Y dado que se había visto la X $-P(Y|X)-$. Se tuvieron en cuenta dos variables independientes relevantes: el *lag* –la posición relativa de la Y respecto de la X, *lag 1* indica que son contiguas– y si la Y era presentada en el mismo punto que la X o en siguiente. Si bien en el diseño se tuvieron en cuenta desde *lag 1* a *lag 5* para ambas fijaciones, en la práctica, por la duración de las fijaciones no se llegaron a registrar ensayos con *lag 5* en la misma fijación, de manera equivalente no se registraron ensayos con *lag 1* en fijaciones separadas porque alguno de los dos caía en la sacada (Figura 4.5.9F).

La curva de pestañeo atencional en la misma fijación sigue un patrón similar a los resultados reportados en la bibliografía, con el primer punto más elevado (*lag 1 sparring*) (Chun y Potter, 1995; Raymond, *et al.*, 1992) y luego decrece, este efecto es significativo aunque más pequeño que el reportado en otras situaciones (efecto: $P(\text{lag}1) - \min(P) = (29 \pm 2) \%$; ANOVA de con *lag* como variable independiente y sujeto como variable aleatoria: $F=10.82, p<0.005$) (Chun y Potter, 1995; Raymond, *et*

al., 1992). Otro efecto reportado previamente en diseños tradicionales que se replica en nuestro experimento es que en *lag 1* hay muchas veces que se reporta Y y no X (en *lag 1*: $P(Y|X) = (0.67 \pm 0.03)$ y $P(Y|noX) = (0.76 \pm 0.06)$, o en números de ensayos: $N(Y|X) = (13.8 \pm 1.5)$ y $N(Y|noX) = (8.8 \pm 1.0)$) (Chun y Potter, 1995; Ferlazzo, Fagioli, *et al.*, 2007; Ferlazzo, Lucido, *et al.*, 2007). Debido a la duración de las fijaciones no se pudieron explorar *lags* mayores por lo que no se llega a ver la recuperación típica del pestañeo atencional a los 500 ms aproximadamente. En la siguiente fijación el patrón parece continuarse, en este caso no se puede observar el efecto de *lag 1* pero si una pequeña recuperación en *lag 5* que no era posible ver para la misma fijación, si se comparan los 3 *lags* compartidos los resultados entre condiciones son no significativos (ANOVA con condiciones y *lags* como variables independientes y sujetos como variable aleatoria: efecto de condición: $F=2.74$, $p=0.11$). Estos resultados parecen indicar que el efecto del *pestañeo atencional* está conservado entre dos fijaciones, un efecto parecido al observado en enmascaramiento, con la salvedad de que en ese caso debido al remapeo a veces la máscara no tenía efecto porque se veía desplazada (De Pisapia, *et al.*, 2010). E inclusive si ahora se incluye *lag 1* en la curva para la misma fijación y *lag 5* para la de dos fijaciones, se puede completar una curva de pestañeo atencional similar a la reportada en la bibliografía, ya que la primera presenta un patrón decreciente y la segunda creciente (pendiente para un modelo lineal en la misma fijación: (-0.07 ± 0.02) , y para dos fijaciones: (0.05 ± 0.02) ; estos valores son además diferentes entre si: *t-test* *pareado*: $df=11$, $t=-5.1$, $p<0.0005$).

Conclusiones

En esta serie de experimentos caracterizamos el núcleo – o ventana – de adquisición de información a lo largo de una sacada, describiendo sus propiedades en el contexto de un único esquema experimental, lo cual distingue este trabajo de otros enfocados sobre los fenómenos que ocurren sobre el comienzo o sobre el final de la fijación. Cada uno de los experimentos fue una variación minimal sobre un experimento base en el que los sujetos debían recorrer el ancho de la pantalla en dos sacadas, deteniéndose en el medio y al final, en donde la información relevante estaba en una o en las dos fijaciones (la del medio para los experimentos 1, 2 y 3, y las dos para el 4). Brevemente pudimos observar que, 1) La ventana temporal de adquisición de información –reflejada en la detección de un target– se extiende de los 60 ms después de comenzar la fijación a los 40 ms antes de realizar la siguiente sacada, 2) Tanto la confianza en la presencia del target como la decisión sobre múltiples targets presentan asimetrías dentro de esta ventana, 3) La cantidad máxima de elementos reportados correctamente es 3 (1 o 2 menos de los elementos presentados), 4) Existe una coordinación entre los objetivos, la percepción y la acción, es decir que los tiempos de fijación dependen en gran medida de la tarea pero también de la información colectada en la fijación, 5) Esta ventana temporal de adquisición de información no corresponde a un único evento en el sentido del pestañeo atencional, y el cierre de la misma no parece interactuar con los cuellos de botella que gobiernan los tiempos característicos del procesamiento central.

Muchos trabajos previos se enfocaron en distintos aspectos de la percepción y la cognición a lo largo de una sacada, como el remapeo perceptual, la supresión sacádica, la percepción trans-sacádica, la secuencia de procesamiento de información visual desde el inicio de la fijación, y la generación de sacadas entre otros. Si bien estos procesos barren toda la duración de la fijación cada uno está enfocado en una ventana temporal específica y muchos de ellos para una categoría de estímulos específica (lectura o imágenes naturales por ejemplo). El núcleo de adquisición de información hallado en este experimento es altamente compatible con la bibliografía proveniente de esas múltiples ramas, con la virtud de combinar muchos de esos

resultados en un único paradigma experimental. En primer lugar, se observó que no es posible adquirir información durante la sacada y que una vez finalizada son necesarios 60 ms para poder reportar con probabilidad 1 la presencia del *target*, lo cual es compatible con trabajos de electrofisiología en monos y humanos donde las primeras respuestas ante un estímulo son de aproximadamente 40 ms (en V1 y FEF) (Foxye y Simpson, 2002; Kirchner, *et al.*, 2009; Martinez, *et al.*, 1999; Moro, *et al.*, 2010; Roelfsema, *et al.*, 2007) y con trabajos de comportamiento en humanos en donde los sujetos deben responder lo más rápido posible con una sacada ante una tarea de detección, lo cual ocurre aproximadamente a los 100 ms (Kirchner y Thorpe, 2006). Por otro lado, al finalizar la fijación, los 40 ms donde el *target* se reporta con probabilidad menor a 1 son compatibles con los tiempos en donde la percepción se ve distorsionada por el remapeo perceptual (Burr, *et al.*, 2010; Melcher y Colby, 2008; Ross, *et al.*, 2001). Es decir que, en este trabajo, se logró el objetivo de determinar en un único experimento el comienzo y el final del núcleo de adquisición de información a lo largo de una fijación. Lograr combinar los resultados previos en un único experimento resultaba crítico para el proyecto general ya que el interés estaba puesto en la secuencia de fijaciones, es decir tanto el comienzo como el final de las fijaciones encadenadas.

En los últimos años se demostró que es posible cuantificar robustamente los reportes introspectivos y que estos pueden resultar muy informativos de los procesos internos (Corallo, *et al.*, 2008; Graziano, *et al.*, 2010; Graziano y Sigman, 2009; Marti, *et al.*, 2010; Sergent, *et al.*, 2005), fundamentalmente que aportan una información distinta al reporte objetivo, y que muchas veces estos reportes subjetivos resultan más adecuados para describir los procesos cognitivos (Marti, *et al.*, 2010). En este sentido observamos una disociación entre la detección de un *target* y el acceso a esa información –la *confianza* sobre la detección–, es decir que a latencias tempranas dentro de la fijación la probabilidad de responder correctamente es máxima pero el acceso a la misma no. Este resultado está respaldado además por el patrón de elección en el experimento 2 –donde hay que reportar una única letra, aunque sea posible ver más de una–, allí se observa que la probabilidad de reportar aumenta con la latencia dentro de la fijación. Por otro lado tanto la confianza y como probabilidad de reportar decrecen abruptamente a 0 sobre el final de la fijación, al igual que lo hacia la probabilidad de detectar un *target*. Un posible mecanismo para explicar este gradiente de acceso a la información es que exista un enmascaramiento parcial de cada estímulo por el elemento siguiente (Del Cul, *et al.*, 2007; Enns y Di Lollo, 2000). Y únicamente el último elemento de la fijación es capaz de evadir este enmascaramiento aunque no sea el último elemento de la secuencia de estímulos, ya que, como se observó en un trabajo reciente, las máscaras sobre el final de la sacada son menos efectivas (De Pisapia, *et al.*, 2010) y sobre la sacada pueden llegar a no ser vistas (Ross, *et al.*, 2001).

Siguiendo la hipótesis del enmascaramiento hacia atrás pasivo hay dos resultados que requieren ser explicados: 1) El enmascaramiento debe ser sólo parcial, ya que en el caso que se requieran más respuestas los sujetos pueden acceder a más elementos de la secuencia. Es interesante que siempre se dejen sin reportar 1 o 2 elementos, respondiendo como máximo 3 elementos con una correlación fuerte con el tiempo de fijación. Una hipótesis alternativa para explicar este hecho es que la presentación de los estímulos está al borde de la frecuencia de adquisición de información natural del cerebro –~13 Hz– propuesta por vanRullen y Koch (VanRullen y Koch, 2003), y que por lo tanto la percepción falle en una proporción de los estímulos por estar levemente desfasada con los tiempos de presentación. Esta hipótesis en un contexto de adquisición de información pasiva sin embargo no explicaría por qué nunca es el último el que se pierde, ni por qué la percepción del último muestra correlaciones fuertes con la acción –la iniciación de la siguiente sacada–. 2) Debe

existir un componente activo de la percepción sobre la acción. Aunque se requerirá más análisis para ser concluyentes en este sentido, un posible modelo sería que exista un esquema de adquisición de información pasivo en principio –independiente del plan motor–, pero que la secuencia de estímulos per sé module el momento de ejecución de la sacada, aunque gran parte de la latencia de la sacada está determinada por los requerimientos de la tarea –completar el movimiento en 800 ms y los objetivos específicos–. El proceso de modulación por la secuencia de estímulos podría darse en el período lábil de la generación de sacadas que presenta el modelo de Findlay y Walker (1999) y fue adaptado a muchas otras situaciones (Engbert, *et al.*, 2005; Findlay y Walker, 1999; Nuthmann, *et al.*, 2010; Reichle, *et al.*, 2003) (Figura 1.3.4). Resumiendo, un posible modelo sería 1) los estímulos visuales que son incorporados de forma pasiva, en un esquema *feedforward*, son capaces de modular ciertas fases de la ejecución motora y se acumula en buffers sensoriales (Dux y Marois, 2009; Enns y Di Lollo, 2000; Zylberberg, *et al.*, 2009) . 2) A su vez, la propia ejecución motora, a través de procesos como el remapeo o la supresión sacádica, afecta la percepción de los estímulos recorrido (Melcher y Colby, 2008; Merriam y Colby, 2005; Ross, *et al.*, 2001; Sommer y Wurtz, 2008b). 3) Los sucesivos estímulos interactúan dentro de esos buffers sensoriales dando lugar a un gradiente en la calidad de la información.

Este esquema explica los experimentos anteriores, pero para ello debería existir un mecanismo de lectura de la información acumulada en esos buffers y procesamiento selección de la respuesta –según los requerimientos de la tarea– potencialmente independiente de la adquisición de información mediante sacadas. En el experimento 4 observamos una marca de este proceso. En este experimento se buscó evaluar específicamente la interacción de procesos centrales –caracterizados a partir de fenómenos como el pestañeo atencional o PRP– y la adquisición de información mediada por sacadas y fijaciones. De manera muy interesante nuestros resultados apuntan a una disociación entre estos dos procesos, ya que el pestañeo atencional no se ve afectado por cómo el mecanismo de adquisición de información. Este hecho van en línea con el esquema propuesto el párrafo anterior, en el que la adquisición de información visual y el sistema de generación de sacadas funcionan en forma mayormente modular, y los procesos centrales asociados a la utilización de esa información tienen tiempos característicos más lentos y funcionan en paralelo con esos módulos (Dehaene, *et al.*, 1998; Dehaene y Naccache, 2001; Zylberberg, *et al.*, 2010).

Estos resultados permiten además, acercar las observaciones realizadas en los primeros capítulos a situaciones más naturales para el ser humano.

4.6. Reconocimiento temprano de objetos en una escena visual: Un estudio de movimientos oculares y EEG.

Métodos Específicos

Participantes

Diecisiete participantes realizaron el experimento de *free viewing* (11 hombres / 6 mujeres, edad: [21 36] años). Veinticuatro realizaron los dos experimentos control con mirada fija (*replay*: 10 hombres / 2 mujeres; edad: [21 36] años; y *classical oddball*: 11 hombres / 1 mujeres; edad: [21 36] años).

Experimento de free viewing: Una tarea de búsqueda visual

En cada pantalla se presentaron 20 estímulos (18 *distractores* y 2 *targets*), distribuidos de forma pseudo-aleatoria en un recuadro centrado de 750 píxeles de lado. El centro de cada estímulo estaba a al menos 3 estímulos de distancia del resto.

Los estímulos consistían en parches que contenían a los *targets* y *distractores* (Figura 4.6.2). Cada parche estaba compuesto por 8 #s negros que rodeaban a una E (*target*) o a una E invertida (, *distractor*) en gris levemente más oscuro que el fondo. El tamaño de los parches fue de 0.75° de ángulo visual. Con este diseño – bajo contraste y los #s generando un efecto de amontonamiento (*crowding*) sobre el centro (Toet y Levi, 1992; Tripathy y Cavanagh, 2002) – se buscó prevenir que los sujetos identificasen a los *targets* desde la periferia, obligándolos por lo tanto a fijar la mirada en cada parche para poder identificar su contenido.

Los sujetos debían apretar, con la mano derecha, la barra espaciadora del teclado al encontrar el segundo de los dos *targets* ocultos entre los 18 *distractores*. La pantalla permanecía constante por 50 ms luego de apretar el botón de respuesta. Utilizamos dos *targets* (en vez de uno) para mantener el primer *target* embebido en la secuencia de sacadas, libre de contaminación motora debida a la respuesta manual, y por lo tanto lo más semejante posible a los *distractores*.

Se les advirtió a los sujetos que no había restricciones de tiempo, en cambio serían penalizados si miraban más de una vez al mismo parche (*target* o *distractor*). Usando estas instrucciones simples obtuvimos: 1) Fijaciones más largas que en otros experimentos de búsqueda visual, y 2) menos redundancia entre fijaciones, muy común en sujetos que exploraban sin ninguna instrucción. Ambas propiedades son muy importantes para el análisis, las fijaciones largas abren la posibilidad de observar potenciales cognitivos tardíos y la poca redundancia previene la posibilidad de que el sujeto haya fijado la mirada en un *target* pero en realidad no lo haya identificado.

Experimentos control con mirada fija: *Replay* y *Classical Oddball*

A continuación detallamos dos experimentos control que el sujeto debió realizar con la mirada fija en el centro de la pantalla. El experimento *Replay* fue una reproducción del experimento original pero presentado alrededor del punto de fijación, mientras que en el experimento *classical oddball* fueron presentados los mismos estímulos en el centro de la pantalla de manera más lenta.

En el experimento *replay*, la secuencia de *targets* y *distractores* se mantuvo igual que en experimento original (*free viewing*), la duración de los estímulos y el

tiempo entre estímulos (ISI) fueron tomados de la duración de las fijaciones y las sacadas respectivamente. Las posiciones relativas de los estímulos al centro de la pantalla reflejaban el desplazamiento del punto de fijación respecto del centro del estímulo (en *free viewing*), y por ende estaban apenas desplazadas. El valor del desplazamiento utilizado fue corregido, asignando valores dentro del marco de #s a las fijaciones que caían en el borde o apenas fuera del parche, porque con la mirada fija en el medio era imposible verlos. Las fijaciones más alejadas (a regiones sin estímulos) o con pestañeos no fueron presentadas en el *replay*.

En el experimento *classical oddball*, la secuencia de *targets* y *distractores* también se mantuvo igual que en experimento original (*free viewing*), pero la duración del estímulo fue de 100 ms, el ISI se extendió para todos los estímulos dentro del rango de los 550 a 1750 ms, y todos los estímulos fueron presentados en el centro de la pantalla –donde el sujeto mantenía la mirada–. Las fijaciones más alejadas (a regiones sin estímulos) o con pestañeos tampoco fueron presentadas en el *classical oddball*.

En los dos experimentos control el objetivo del participante fue el mismo que en la situación de *free viewing* –encontrar los dos *targets* dentro de la secuencia de N *distractores* y presionar la barra espaciadora en el teclado con la mano derecha–. Como las secuencias fueron construidas a partir de las secuencias realizadas por los sujetos en *free viewing*, el número de distractores presentados dependía del desempeño de otros sujetos. Las instrucciones fueron las mismas que en *free viewing*.

Diseño General

En el experimento de *free viewing* los sujetos realizaron en promedio: 209 ensayos (entre 150 y 250 ensayos), con tiempos de descanso, correcciones de la posición del ojo cada 10 ensayos, y recalibraciones del equipo de seguimiento ocular cada 50 ensayos. En los experimentos control, los sujetos realizaron 180 ensayos con descansos y correcciones de la posición del ojo cada 10 ensayos, pero una única calibración al principio del experimento.

Cada ensayo comenzaba con un punto verde de 800 ms de duración (señal de preparación) y luego los estímulos eran presentados, distribuidos espacialmente o secuencialmente hasta que el sujeto respondiese.

Pre procesamiento de los datos de EEG

Los registros se realizaron según lo detallado en Métodos generales.

La frecuencia de adquisición se disminuyó digitalmente a 512 Hz, y se importó en MATLAB utilizando el paquete EEGLAB (Delorme y Makeig, 2004) con referencia en el lóbulo de la oreja derecha. Los datos fueron filtrados entre 1 y 100 Hz (filtro elíptico de 6to orden) y la señal de línea de 50 Hz fue suprimida utilizando un filtro *notch* entre 49 y 51 Hz. Los canales ruidosos fueron detectados por inspección visual a partir de los datos crudos y del espectro, y luego reemplazados por una señal producto de la interpolación de todos los demás canales buenos pesados por la inversa de la distancia al canal a reemplazar. Este procedimiento fue necesario en uno o dos canales por sujeto en menos del 50% de los sujetos.

Excluimos las fijaciones menores a 550 ms y mayores a 1750 ms (ver Figura 4.6.1A y Pre procesamiento de movimientos oculares). Los datos fueron recortados entre 250 ms antes y 550 ms después del *onset* de cada fijación –la porción de los

datos libres de otras sacadas—. Como el artefacto de la sacada previa está restringido entre 0 y 100 ms antes del *onset* de la fijación (Figura 4.6.1D), la línea de base se estableció entre 100 y 200 ms antes del *onset* de cada fijación, y se sustrajo el promedio de la línea de base a cada canal y cada ensayo. Sólo consideramos períodos sin pestañeos. A partir de los datos de movimientos oculares, también descartamos las fijaciones que contenían microsacadas (Figura 4.6.1C) para evitar cualquier sesgo en la interpretación de los resultados (Dimigen, *et al.*, 2009; Yuval-Greenberg, *et al.*, 2008). Finalmente aplicamos un umbral de amplitud en 75 μ V a cada canal y cada fijación. Si más de 5 canales excedían el umbral para una fijación, esta era descartada; mientras si 5 o menos canales estaban en esta situación, los mismos eran interpolados sólo para esa fijación. Luego, sobre los datos limpios, se cambió la referencia al promedio de todos los canales.

Todos los sujetos tenían más de 20 fijaciones a *targets* aceptadas al final del procedimiento (55 ± 34 ensayos/fijaciones por sujeto).

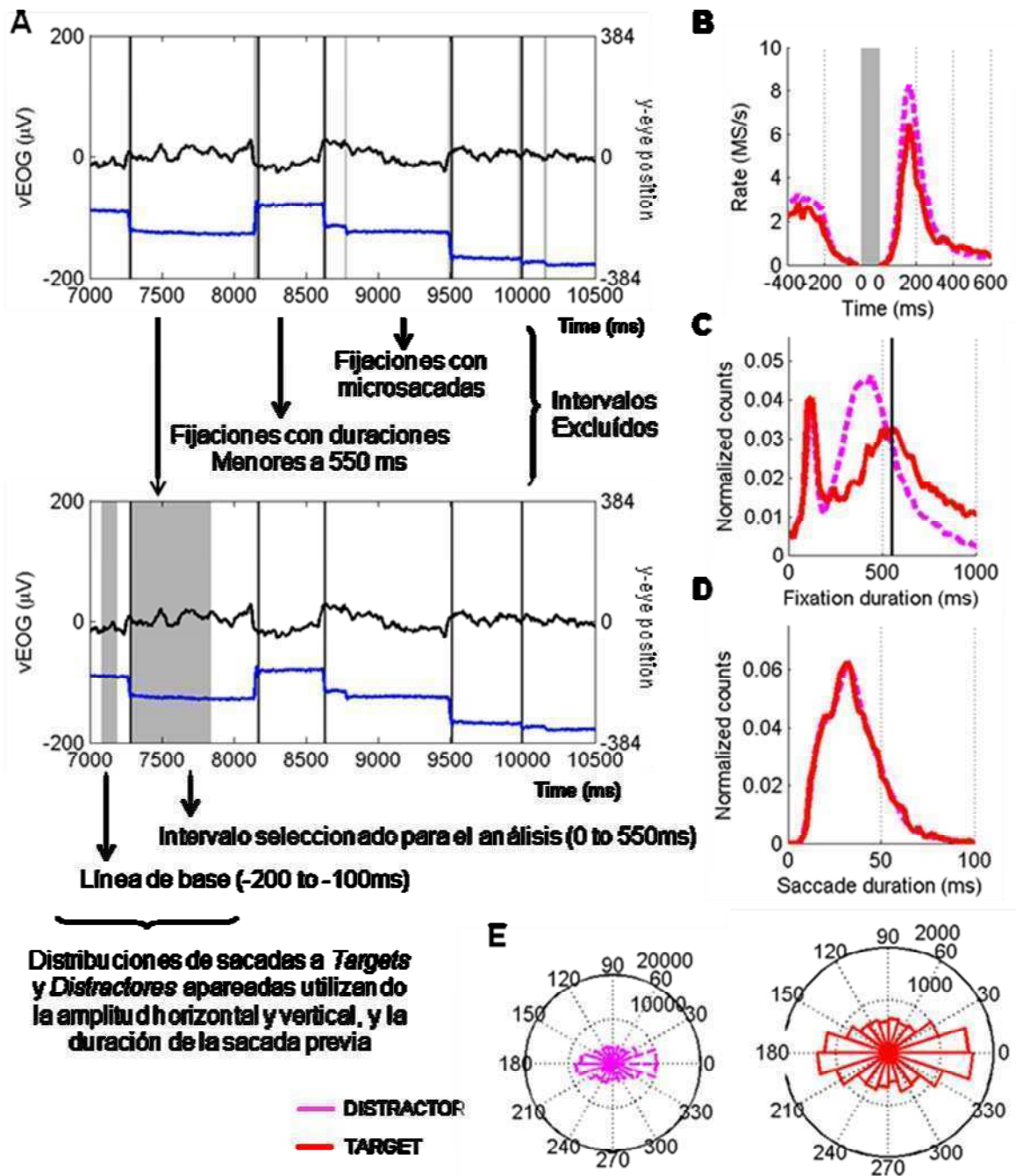


Figura 4.6.1 A) Procedimiento de preprocesamiento de los registros conjuntos de EEG y Seguimiento ocular: Se considerarán para el análisis las fijaciones con duraciones mayores a 550 ms y sin microsacadas. B) La distribución de microsacadas para *targets* y *distractores*, presenta una inhibición temprana después de la fijación, con un pico en ~ 200 ms. El período de inhibición también está presente antes del comienzo de la sacada previa. C) Distribución de duración de las fijaciones para *targets* y *distractores*. La línea negra vertical marca el umbral elegido para incluir fijaciones en el análisis (550 ms). D) Distribución de duración de la sacada previa para *targets* y *distractores*. Definimos como línea de base para restar al potencial evocado el período entre 100 y 200 ms antes del comienzo de la fijación, previo a la ocurrencia de las sacadas. E) Distribución angular de la dirección de las sacadas. La predominancia de sacadas horizontales fue observada tanto para *targets* como para *distractores*.

Pre procesamiento de movimientos oculares

Los registros se realizaron según lo detallado en Métodos generales.

Para 39/41 sujetos se utilizó el modo binocular con la cabeza estabilizada y con una frecuencia de adquisición de 1 kHz en cada ojo. Los datos de 2 participantes del experimento principal fueron registrados en modo remoto/monocular sin estabilizar la cabeza y con una frecuencia de adquisición de 0.5 kHz en cada ojo. La exclusión de estos sujetos no cambia ninguno de los resultados presentados en este trabajo. Se disminuyó la frecuencia de adquisición a 500 Hz antes del procedimiento de detección de sacadas.

Detección de sacadas y microsacadas

Para detectar las sacadas y microsacadas utilizamos una versión adaptada del algoritmo de Engbert y Kliegl (Engbert y Kliegl, 2003) (<http://www.agnld.uni-potsdam.de/~ralf/MS/>). Este algoritmo tiene 3 parámetros críticos que deben ser definidos empíricamente: La *duración mínima de una sacada o microsacada*, la *velocidad umbral* y el *mínimo tiempo entre sacadas*. Este último parámetro fue agregado para evitar detectar movimientos correctivos como nuevas sacadas (Moller, *et al.*, 2002; Troncoso, *et al.*, 2008). Basado en la bibliografía y en la inspección ocular de los datos crudos definimos los parámetros como: La *duración mínima de una (micro)sacada* = 3 ms, la *velocidad umbral* = 6 veces la *velocidad media* y el *mínimo tiempo entre sacadas* = 50 ms. Para reducir el ruido en detección (Engbert y Mergenthaler, 2006), sólo consideramos sacadas o microsacadas binoculares, definidas como las que ocurren simultáneamente en ambos ojos al menos en una muestra (2 ms) (Engbert y Kliegl, 2003; Engbert y Mergenthaler, 2006; Laubrock, *et al.*, 2005; Moller, *et al.*, 2002; Otero-Millan, *et al.*, 2008; Rolfs, *et al.*, 2006; Troncoso, *et al.*, 2008). Las microsacadas fueron separadas utilizando un umbral de 1° como estudios anteriores (Engbert y Mergenthaler, 2006; Laubrock, *et al.*, 2006; Moller, *et al.*, 2002; Otero-Millan, *et al.*, 2008; Rolfs, *et al.*, 2008; Troncoso, *et al.*, 2008) y en particular como en algunos de estudios previos en EEG y seguimiento ocular (Dimigen, *et al.*, 2009; Yuval-Greenberg, *et al.*, 2008).

Corrección de los desplazamientos

La posición de las fijaciones registrada con el equipo de seguimiento ocular fue corregida con un desplazamiento rígido en cada ensayo. El valor de la corrección fue calculado, para todas las fijaciones en un ensayo, como la media del desplazamiento entre el punto de fijación y el parche más cercano. Sólo se consideraron desplazamientos menores a 35 píxeles para evitar correcciones basadas en fijaciones realizadas a espacios vacíos. Si menos de la mitad de las fijaciones en un ensayo ingresaban por este criterio, el umbral era extendido a 70 píxeles. Si este procedimiento volvía a fallar el ensayo era descartado.

Selección de fijaciones basado en los movimientos oculares

Se aplicaron los siguientes criterios para descartar fijaciones:

- 1) Si la duración de la fijación era menor a 550 ms o mayor a 1750 ms.
- 2) Si la fijación contenía pestaños o microsacadas.

En el experimento de *free viewing* pareamos las propiedades de la sacada previa –amplitudes horizontales (dx) y verticales (dy) y duración (dt)– entre *targets* y *distractores*, para prevenir potenciales diferencias en la línea de base. Para cada fijación a un *target* se seleccionó la fijación a un *distractor* con la sacada previa más parecida –en las propiedades anteriores–, es decir la de menor distancia cuadrática en el espacio (dx,dy,dt) normalizada por la suma de las desviaciones estándar. Este procedimiento también compensó diferencias en el número de fijaciones en cada condición.

Análisis de potenciales evocados

Comparaciones estadísticas entre targets y distractores entre sujetos

Cada muestra de (canal, tiempo) fue sometida a un test no para métrico de Wilcoxon (*rank-sum test*) comparando entre dos condiciones –*targets* y *distractores*– entre todos los sujetos. Dado que se utilizaron 128 canales y típicamente 410 puntos de tiempo, este procedimiento resultó en 52480 comparaciones por cada par de condiciones. Para evitar resultados espurios debido a estas múltiples comparaciones, filtramos los resultados de acuerdo al siguiente criterio: 1) Se fijó un umbral de significancia de $p < 0.01$; 2) Para cada canal, un punto en el tiempo fue considerado significativo si era parte de una secuencia de al menos 10 puntos significativos consecutivos (ventana temporal = 19.5 ms) (Dehaene, *et al.*, 2001; Thorpe, *et al.*, 1996), 3) Cada muestra fue considerada significativa si al mismo tiempo al menos un canal vecino era también significativo.

Comparaciones estadísticas entre targets y distractores dentro de cada sujeto

De forma similar al análisis entre sujetos, cada muestra de (canal, tiempo) fue sometida a un test no paramétrico Wilcoxon (*rank-sum test*) comparando entre dos condiciones - *targets* y *distractores* - entre todos los ensayos de cada sujeto. Para evitar resultados espurios debido a estas múltiples comparaciones, filtramos los resultados de acuerdo al mismo criterio que la comparación entre sujetos.

Para determinar la latencia de la discriminación temprana en cada sujeto, seleccionamos el canal con el menor valor de p entre 150 y 250 ms, y luego buscamos el primer tiempo en el cual el valor de p para ese canal cruzaba el umbral de 0.01.

Regresión sobre las componentes principales

Para el análisis utilizamos las primeras dos componentes principales resultantes de la descomposición de las diferencias entre los ERPs de los *targets* y *distractores* en los 3 experimentos (Figura 4.6.5A). Resultados similares fueron obtenidos utilizando los ERPs en vez de las diferencias o las componentes estimadas sujeto por sujeto –típicamente la primera respeta la simetría de un dipolo antero-posterior y la segunda es similar a un monopolo–. Se realizó una regresión de cada ensayo a estas dos componentes más un *offset*, y luego se promedió para cada sujeto y sobre todos los sujetos (Duda, *et al.*, 2001; Sigman y Dehaene, 2008). Para determinar la significancia estadística se realizó un procedimiento similar a los ERPs corrigiendo con un umbral de 0.01, una ventana temporal de 29 ms y en este caso no hubo noción de vecinos.

Latencias de las componentes principales

Definimos una secuencia de picos que notamos en base a la polaridad (positivo: P o negativo: N) y el orden (1,2,...) con los siguientes criterios: P1) Primer pico negativo en PC1 con latencia mayor a 50 ms, N1) Primer pico positivo en PC1, con latencia mayor a P1 y menor a 300 ms, P2) Segundo pico negativo en PC1, con latencia mayor a P1 y menor a 300 ms, N2) Primer pico positivo en PC2, con latencia mayor a P2 y menor a 450 ms, P3) Mayor pico positivo en PC1, con latencia entre 250 y 450 ms, P4) Mayor pico positivo en PC2, con latencia mayor a 450 ms. Las latencias fueron calculadas para cada sujeto y se presentan como el rango intercuartil entre sujetos (Figura 4.6.5).

Modelado de fuentes

Se mapearon los registros realizados en los 128 electrodos sobre un modelo de 10000 dipolos distribuidos sobre el manto cortical. Tanto las posiciones como las orientaciones de los dipolos estaban restringidas al manto cortical de un cerebro genérico construido a partir del cerebro estándar del Montreal Neurological Institute, y alineado sobre la geometría de la red de electrodos del EEG. Este procedimiento y el siguiente análisis de fuentes y su visualización se realizaron con el paquete BrainStorm (<http://neuroimage.usc.edu/brainstorm>). El *forward model* del EEG fue estimado con una extensión del *overlapping-spheres analytical model* (Huang, *et al.*, 1999). Los mapas de corrientes corticales fueron calculados de la señal utilizando un estimador lineal inverso (*weighted minimum-norm current estimate*; ver (Baillet, *et al.*, 2001) para más detalles). Las respuestas evocadas en cada región de interés (ROI) son presentadas como la potencia de todas las fuentes incluidas en el ROI.

Resultados

Los potenciales evocados (*Event Related Potentials, ERPs*) y los movimientos oculares han sido muy utilizados para entender la dinámica del procesamiento visual (Dehaene, *et al.*, 2001; Heinze, *et al.*, 1994; Henderson, 2003; Liversedge y Findlay, 2000; Luck, *et al.*, 2000; Sereno y Rayner, 2003; Thorpe, *et al.*, 1996). Paradójicamente, estas dos metodologías fundamentales se han desarrollado independientemente, con excepción de algunos pocos experimentos recientes (Dimigen, *et al.*, 2009; Ossandon, *et al.*, 2010; Yuval-Greenberg, *et al.*, 2008). Pero la pregunta de cómo compatibilizar los resultados obtenidos independientemente con cada una de estas dos técnicas surge instantáneamente, fundamentalmente en términos de latencias. Mientras que en el campo de los movimientos oculares se describen mecanismos de adquisición y procesamiento de información que ocurren dentro del tiempo característico de una fijación (~250 ms), en el estudio de ERPs se describen sucesos en el rango de los 500 ms y hasta 1000 ms. A continuación estudiamos registros simultáneos de EEG y movimientos oculares en sujetos que debieron buscar, a través de una secuencia de sacadas y fijaciones, dos *targets* en una escena cargada de *distractores*; con el objetivo fundamental de describir qué elementos de la secuencia de ERPs se conservan y qué nuevas componentes aparecen al estar embebidos en una secuencia de movimientos oculares.

En el presente paradigma los sujetos debieron explorar una pantalla con 20 parches. Cada parche contenía un objeto que puede ser un *target* o un *distractor* y estaba enmascarado por una textura. La máscara obligaba a los sujetos a fijar su mirada dentro del objeto para determinar si era un *target* o un *distractor* (Figura 4.6.2A). Dos de los parches contenían *targets* (la letra E) mientras que los 18 parches restantes en la pantalla contenían *distractores* (la imagen especular del *target*, \exists). Los sujetos debieron recorrer la imagen hasta encontrar ambos *targets*, en cuyo caso debieron responder presionando la barra espaciadora. Este diseño experimental

permitió comparar las respuestas evocadas por un *distractor* y el primer *target*, ambos embebidos en una secuencia de sacadas, sin la componente asociada a la respuesta motora manual. Es muy importante destacar el hecho que en este diseño la secuencia espacial y temporal de aparición de los estímulos está bajo el control del sujeto experimental.

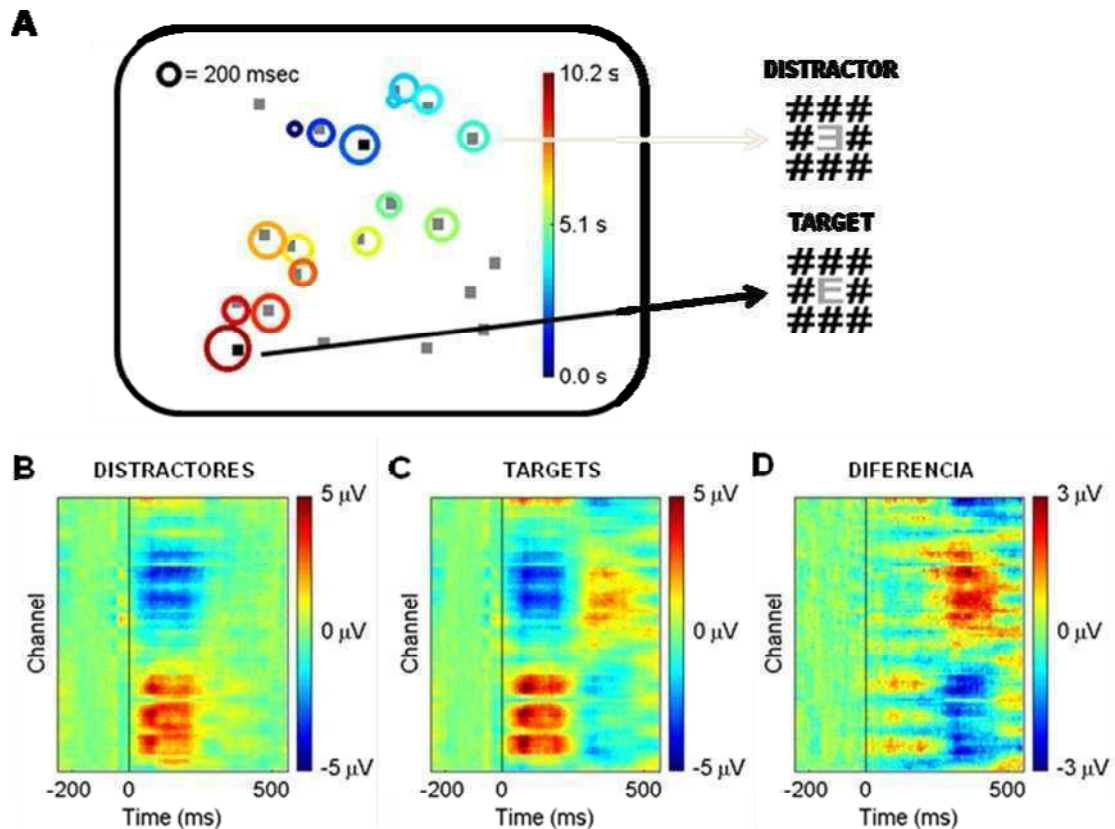


Figura 4.6.2 A) Panel izquierdo: Ejemplo de una pantalla y una secuencia de búsqueda. El tamaño de los círculos representa la duración de la fijación (el círculo negro - arriba izquierda - es un patrón de 200 ms). Los colores representan el tiempo dentro del ensayo. Los *distractores* (*targets*) fueron reemplazados por recuadros grises (negros). Panel derecho: Detalle de los estímulos utilizados como *distractores* (arriba) y *targets* (abajo). B) fERPs para *distractores* (izquierda), *targets* (centro) y la diferencia entre ellos (derecha).

Adquirimos simultáneamente la posición del ojo y los registros de EEG. Los sujetos exploraron en promedio (8 ± 1) parches antes de encontrar el primer *target* y (18 ± 2) antes de concluir la búsqueda –a los (9.8 ± 1.6) segundos–. En promedio se obtuvieron 3723 fijaciones (rango: [2360 4740]) por cada experimento. Las sacadas y microsacadas fueron identificadas utilizando un algoritmo automático (ver Engbert y Kliegl (2003) para más detalles). La distribución de duraciones de las fijaciones fue bimodal (Figura 4.6.1C) con fijaciones muy cortas, típicamente seguidas de una sacada correctiva al mismo parche. Sólo las fijaciones con una duración que excedía los 550 ms y libre de pestañeos y microsacadas fueron incluidas en el análisis de EEG (ver Métodos específicos).

Los ERPs evocados por una fijación (*Fixational Event-Related Potentials*, *fERPs*) mostraron una secuencia de componentes. Las respuestas evocadas por *distractores* mostraron dos picos positivos en canales occipitales a partir de los 100 ms, y se desvaneció después de aproximadamente 300 ms (Figura 4.6.2B). Por el contrario, las fijaciones sobre los *targets* evocaron además una secuencia de componentes que continuó al menos hasta los 550 ms (Figura 4.6.2C). Esto muestra

que – más allá de la presencia del movimiento de los ojos – los fERPs distinguieron claramente entre categorías, *targets* y *distractores* (Figura 4.6.1D).

A continuación comparamos los registros obtenidos en *free viewing* con dos experimentos control, en los cuales los sujetos fueron instruidos en mantener la mirada fija en el centro de la pantalla, al igual que en la amplia mayoría de la investigación en EEG: 1) En el experimento *replay* balanceamos el tiempo entre estímulos, la duración del estímulo, y la posición relativa del centro del estímulo, reproduciendo la distribución de los parámetros correspondientes en *free viewing* –la duración de la sacada, la duración de la fijación y la posición relativa del punto de fijación y el centro del parche–, así como también se presentó la misma secuencia de *targets* y *distractores*. Este experimento establece una situación donde la proyección sobre la retina de un sujeto sosteniendo la fijación es igual que la de otro moviendo libremente los ojos. 2) En el experimento *classical oddball* también se reprodujo la secuencia de *targets* y *distractores*, pero todos los estímulos fueron presentados en el centro de la pantalla por 100 ms con un tiempo entre estímulos de entre 550 y 1750 ms. Este experimento se acerca más a los experimentos de ERPs clásicos.

Los ERPs tempranos a *distractores* mostraron patrones muy parecidos entre los tres experimentos (*free viewing*, *replay*, y *classical oddball*) (Figura 4.6.3). En todos ellos pudimos identificar una secuencia de dos picos positivos y un valle entre ellos que no alcanzó potenciales negativos –pico negativo– (Figura 4.6.3B). Las latencias de estas componentes no presentaron diferencias significativas entre experimentos. Todas las ANOVAs de una vía comparando las latencias entre experimentos para cada pico y para los tres canales occipitales –O1, Oz, O2– presentados no mostraron diferencias significativas (ANOVA de una vía para un pico/canal con sujetos y experimentos como variables independientes: Efecto de ‘experimento’: $p > 0.05$), aunque sí se observa una tendencia de los picos en el experimento *classical oddball* a estar más retrasados en comparación con los otros dos experimentos (Figura 4.6.3B y Tabla 4.6.1). El experimento *classical oddball* muestra además un segundo pico positivo más pronunciado y una respuesta occipital bilateral remanente a los 300 ms que no se observa en los otros dos experimentos.

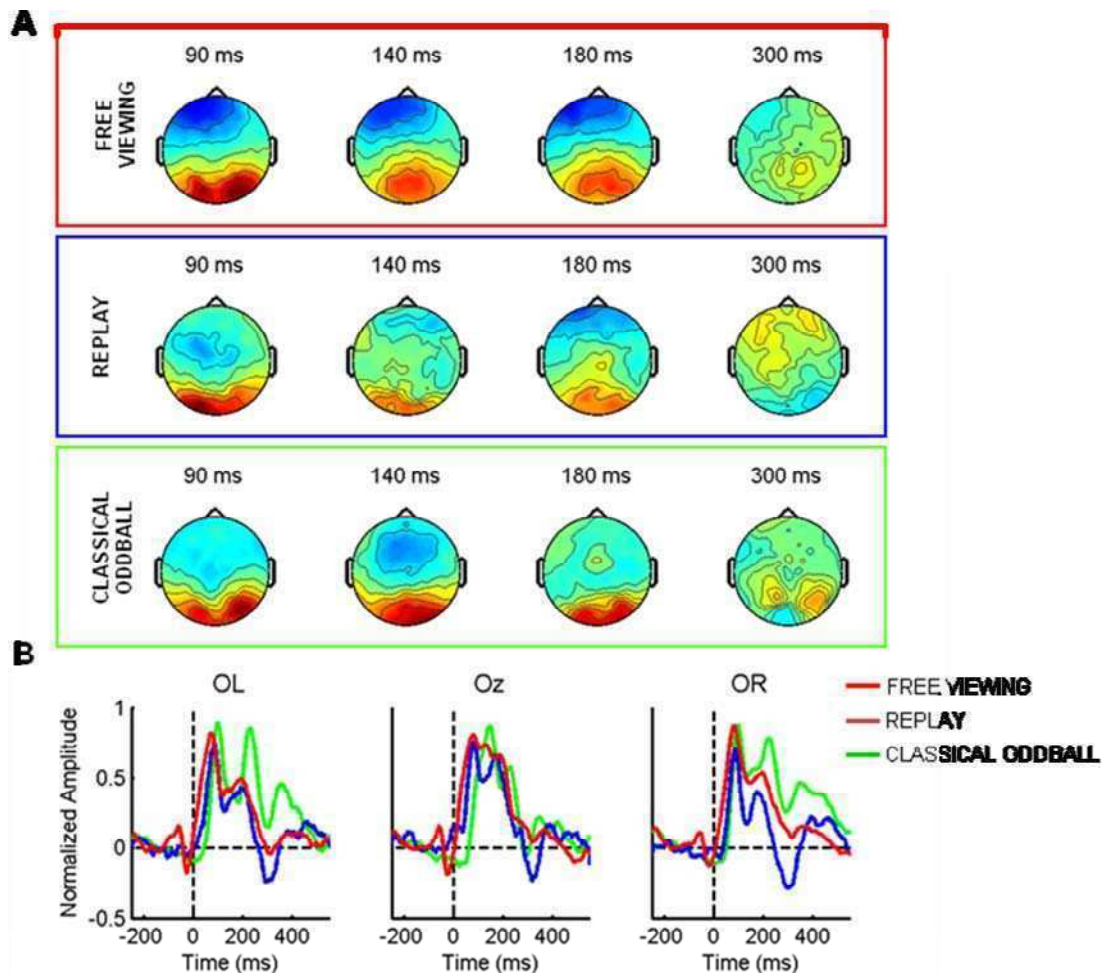


Figura 4.6.3 A) Distribuciones espaciales de los potenciales tempranos a las latencias de los picos promedio (ver Tabla 4.6.1), y a 300 ms. Las amplitudes fueron normalizadas por el rango sobre todos las muestras (canales x tiempos) en cada tarea. B) fERPs para los tres experimentos en tres canales occipitales. Las amplitudes fueron normalizadas por el rango sobre todos las muestras (canales x tiempos) en cada tarea. Cada curva corresponde al promedio de tres electrodos. Las curvas representan la mediana entre los sujetos. Rojo: Free Viewing, Azul: Replay, Verde: Classical Oddball.

	Canales Occipitales Izquierda			Canales Occipitales Derecha		
	<i>Free viewing</i>	<i>Replay</i>	<i>Classical oddball</i>	<i>Free viewing</i>	<i>Replay</i>	<i>Classical oddball</i>
Primer pico positivo	(83 ± 7)	(83 ± 5)	(99 ± 4)	(87 ± 4)	(96 ± 14)	(100 ± 4)
Primer pico negativo	(124 ± 8)	(123 ± 8)	(142 ± 5)	(150 ± 11)	(144 ± 11)	(147 ± 7)
Segundo pico positivo	(161 ± 10)	(159 ± 12)	(194 ± 10)	(184 ± 10)	(183 ± 12)	(192 ± 11)

Tabla 4.6.1: Latencias de los Potenciales Visuales Tempranos. Los valores son presentados como (media ± sem). Para el primer pico positivo se fijó un criterio sujeto a sujeto que la latencia debía ser mayor a 40 ms y la amplitud mayor a 0.25. El segundo pico positivo se lo consideró como el siguiente pico positivo a una latencia mínima de 15 ms relativa al primer pico. El primer pico negativo fue considerado como el primer valle negativo luego del primer pico positivo. Todas las ANOVAs de una vía comparando entre experimentos para los diferentes picos y canales fueron no significativas ($p > 0.05$).

Como siguiente paso estudiamos la señal diferencial entre *targets* y *distractores*, donde observamos una componente relativamente tardía (> 270 ms) que separa *targets* de *distractores* consistente entre los tres experimentos. Esta componente fue significativa para los tres experimentos en electrodos frontales y occipitales (Figure 3A, $p < 0.01$, corregido por comparaciones múltiples – ver Métodos específicos para más detalles). La topografía también fue similar en los tres experimentos; el coeficiente de correlación entre todos los canales a 320 ms y 370 ms fue mayor a 0.9, para todas las combinaciones de a pares posibles (a 320 ms: $C_{(FreeViewing/Replay)} = 0.92$; $C_{(FreeViewing/Oddball)} = 0.96$; $C_{(Replay/Oddball)} = 0.96$). Esta componente fue seguida de una componente central, a partir de los 400 ms luego del comienzo de la fijación, pero que alcanzó significancia sólo para los experimentos *free viewing* y *classical oddball* en los electrodos centrales ($p < 0.01$).

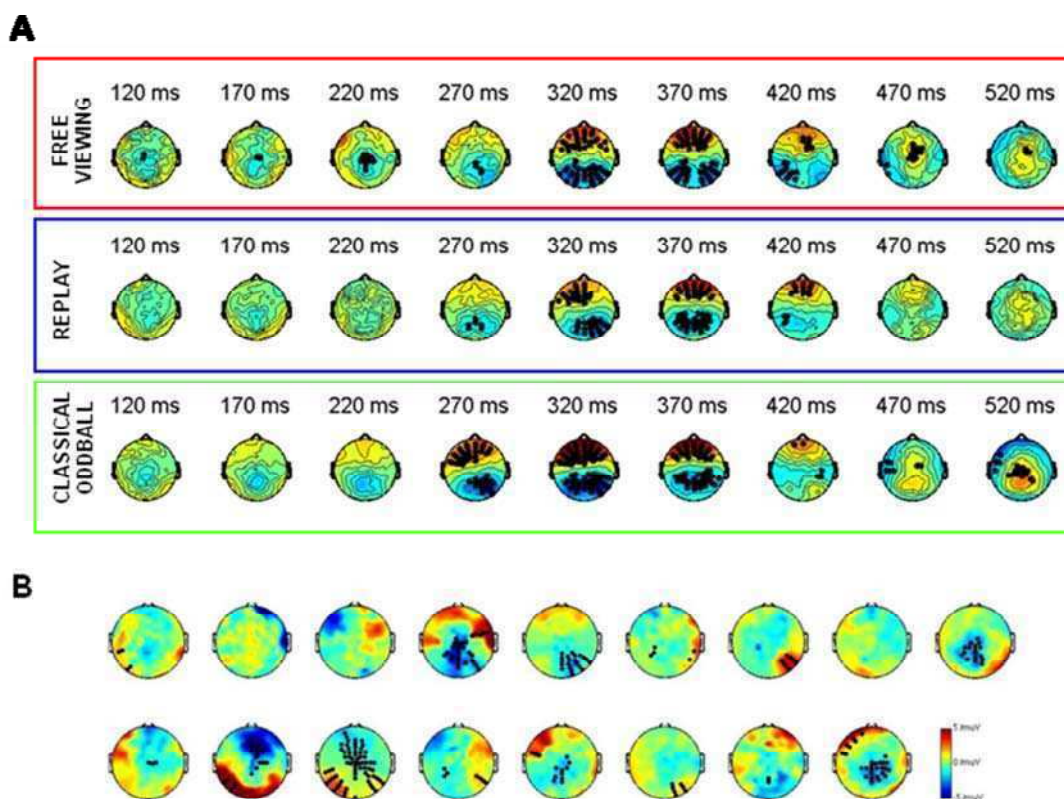


Figura 4.6.4 A) Evolución temporal de las distribuciones espaciales de la diferencia entre *targets* y *distractores* para los tres experimentos. Los puntos negros indican los canales que presentaron una diferencia significativa entre *targets* y *distractores* ($p < 0.01$; corregido por comparaciones múltiples, ver Métodos específicos de esta sección). Las amplitudes fueron normalizadas por el rango sobre todos las muestras (canales x tiempos) en cada tarea. B) Distribuciones espaciales de los fERPs de las diferencias entre *targets* y *distractores* para cada sujeto (N=17) al promedio (\pm sem) de la latencia del comienzo de la discriminación temprana (157 ± 12 ms) (ver Métodos específicos de esta sección). Los puntos negros indican los canales que fueron significativos entre 150 y 250 ms.

La diferencia más interesante entre estos tres experimentos fue una componente central temprana que refleja la discriminación entre *targets* y *distractores* únicamente en *free viewing*, y no en los experimentos realizados con la mirada fija (Figura 4.6.4A). Esta componente se vuelve significativa a una latencia cercana a los 150 ms y se mantiene hasta los 250 ms, donde comienza la componente frontal – observada en los tres experimentos – que finalmente domina la distribución de potencial. En 14/17 sujetos, se pudo estimar el comienzo de esta componente que fue en promedio (media \pm sem) de 159 ± 12 ms (Figura 4.6.4B), y mostró en la mayoría de

los sujetos una topografía similar a la observada en el promedio de los sujetos –con la variabilidad típica de la señal de EEG– (Figura 4.6.4B y primera fila de Figura 4.6.4A).

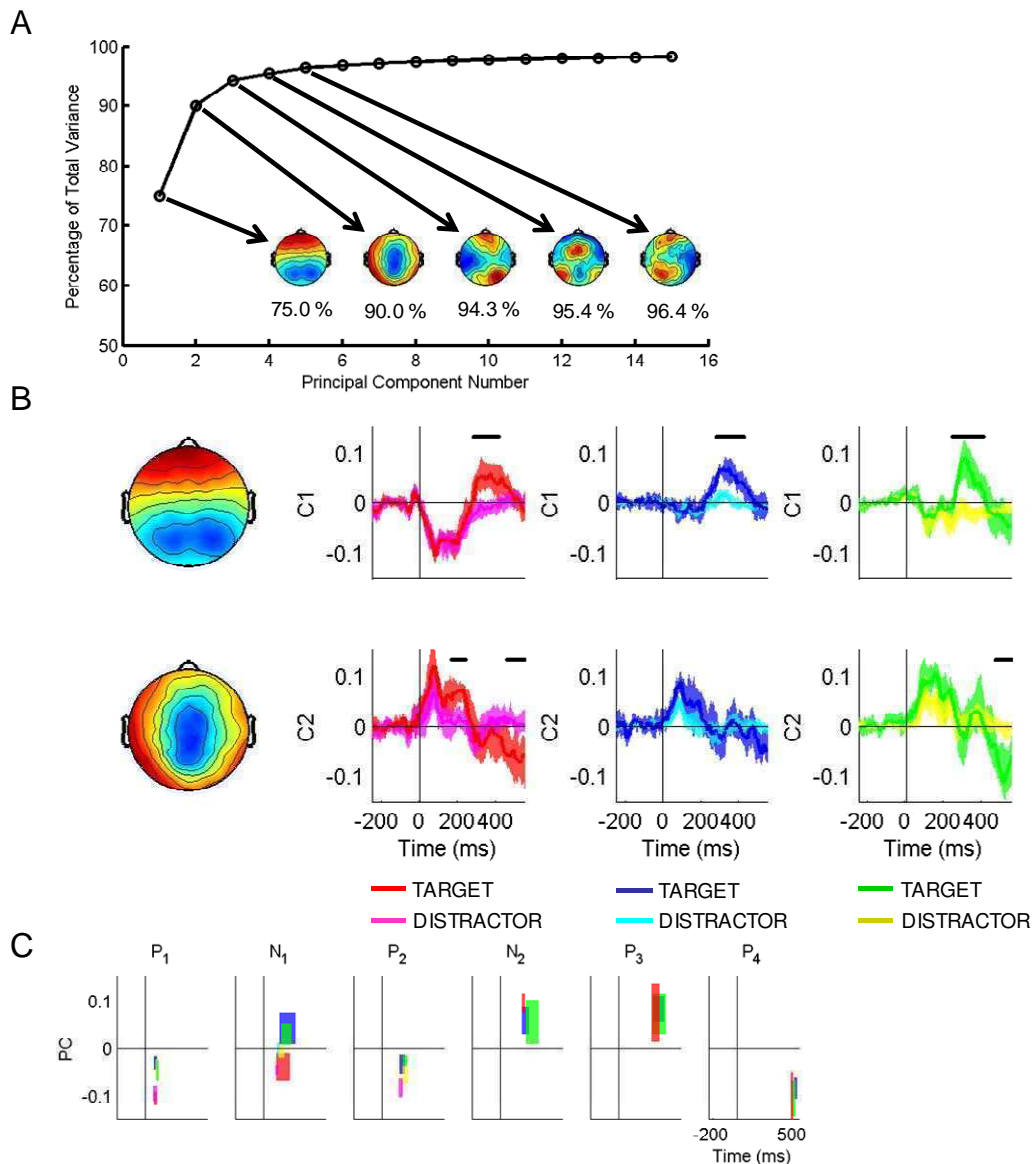


Figura 4.6.5 A) Porcentaje de la varianza de los datos explicada por las primeras Componentes Principales (PC), junto con la distribución espacial de las primeras cinco PC. Las primeras dos, utilizadas en el siguiente análisis, dan cuenta del 90% de la varianza de los datos. B) Proyección de los potenciales evocados sobre el subespacio de las primeras dos PC. Panel Izquierda: Distribución espacial de las primeras dos PC. Paneles desde centro izquierda a derecha: Dinámica de los coeficientes de las proyecciones de los fERPs de targets y distractores sobre el subespacio (PC1, PC2), en los tres experimentos (Free Viewing, Replay y Classical Oddball). Las barras negras representan los intervalos en que la diferencia entre targets y distractores para cada PC fue significativa ($p < 0.01$). Las curvas representan la mediana y el rango intercuartil sobre los sujetos. C) Comparación entre los tres experimentos de las latencias de varios picos encontrados (ver Métodos específicos de esta sección). Rojo: Target – Free Viewing, Magenta: Distractor – Free Viewing, Azul: Target – Replay, Celeste: Distractor – Replay, Verde: Target – Classical Oddball, Amarillo: Distractor – Classical Oddball.

Para profundizar en la dinámica y la significancia de esta componente de discriminación temprana nos propusimos aislarla utilizando un *análisis de componentes principales* (PCA), cuyo objetivo es reducir la dimensionalidad de los datos extrayendo las direcciones ortogonales relevantes del problema, es decir las que

mejor expliquen la varianza de los datos. Para cada sujeto, los 128 canales fueron proyectados, utilizando cuadrados mínimos, sobre las dos primeras componentes principales (PC1,2). Estas explicaban más del 90% de la varianza (Figura 4.6.5A) y eran muy robustas entre sujetos (ver Métodos específicos para más detalle).

Seguimos la dinámica de cada componente, es decir cuánto se parecen los datos a cada componente principal a lo largo del curso de una fijación (Figura 4.6.5B). La primera componente principal (PC1) da cuenta de las diferencias frontales en los tres experimentos, mostrando diferencias significativas entre los 280 y los 400 ms ($p < 0.01$, corregido por comparaciones múltiples, ver Métodos Específicos para más detalles). De hecho la topología de PC1, hallada por una factorización a ciegas de los datos, es muy similar a la topología de las respuestas evocadas a latencias cercanas a los 300 ms en los tres experimentos. También la componente más tardía tiene su correlato en PC2, que muestra una discriminación tardía luego de 455 ms para el experimento de *free viewing* y 465 ms para *classical oddball* ($p < 0.01$). Consistentemente con lo observado en el espacio de los electrodos, el curso temporal de PC2 presentó también diferencias significativas entre *targets* y *distractores* sólo para el experimento de *free viewing* en una ventana temporal similar a la detección temprana de los fERPs (entre 150 y 250 ms, $p < 0.01$)

Por último, investigamos la dinámica en el espacio de las fuentes para localizar tentativamente los generadores neuronales de las señales tempranas y tardías de discriminación de *targets* y *distractores*. Para ello modelamos los fERPs utilizando un número grande (10000) de dipolos distribuidos sobre toda la superficie cortical (ver Métodos específicos). Más allá de la resolución espacial limitada del método (Baillet, *et al.*, 2001), este puede ser utilizado para obtener una distribución de actividad aproximada sobre el manto cortical y permite la estimación de la actividad en varias regiones de interés (ROIs) (Del Cul, *et al.*, 2007; Rudrauf, *et al.*, 2008). El análisis de fuentes reveló que los marcadores fisiológicos tempranos de la discriminación entre *targets* y *distractores* estaban mayormente localizados sobre la corteza occipital con un único pico luego de los 200 ms en corteza frontal (Figure 4.6.6A). Una segunda mirada más fina, indagando sobre la dinámica sobre una serie de áreas de Broadmann –utilizadas como ROIs– a lo largo de un eje occipito–temporo–frontal (Rudrauf, *et al.*, 2008) reveló un gradiente espacial de latencias de la componente tardía (4.6.6B). Esta progresión fue aún más evidente en el experimento de *classical oddball*.

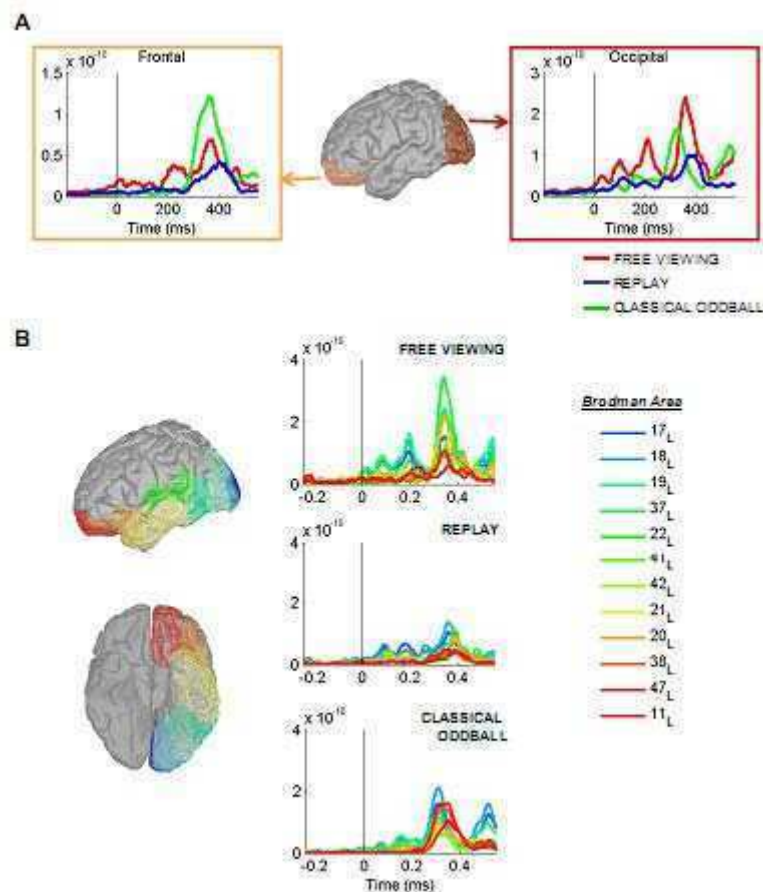


Figura 4.6.6 Las señales medidas fueron proyectadas sobre 10000 fuentes que cubriendo toda la corteza. A) Se definieron dos regiones de interés (ROIs) que muestran respuestas evocadas. Izquierda: Región Frontal Inferior Izquierda (BA11,47). Derecha: Occipital Izquierda (BA18,19). Rojo: Free Viewing, Azul: Replay, Verde: Classical Oddball. B) Se tomaron doce ROIs definidos a partir de las áreas de brodmann (BA) siguiendo un gradiente occipito-temporo-frontal (indicado en colores). Izquierda: Localización de los ROIs seleccionados. Derecha: Respuestas evocadas para los tres experimentos. Arriba: Free Viewing, Medio: Replay, Abajo: Classical Oddball.

Conclusiones

En esta sección estudiamos registros de movimientos oculares y ERPs simultáneos en sujetos buscando objetos ocultos entre varios distractores. A partir de la dinámica de los fERPs, encontramos una componente temprana (~ 150 ms) que indica la presencia de targets sólo en *free viewing*, y componentes tardías (~ 300 ms) que discriminan estos estímulos para todos los experimentos.

La identificación rápida de los *targets* está fuertemente restringida por la latencia de las neuronas. En primates no-humanos, los registros de neuronas únicas en corteza visual han demostrado que los objetos complejos evocan respuestas ~ 100 ms luego de la presentación del estímulo. En *corteza ínfero – temporal* (IT), la última estación de la vía cortical visual ventral, las respuestas son típicamente específicas a una categoría y no a un objeto individual (Kiani, *et al.*, 2007). En humanos, las neuronas del lóbulo temporal medial que responden selectivamente a la identidad de un objeto complejo o una persona exhiben latencias entre 200 y 500 ms (Mormann, *et al.*, 2008; Quiroga, *et al.*, 2005). A nivel de poblaciones de neuronas, registros intracraneales en humanos mostraron que la información de la categoría puede ser decodificada tan temprano como 100 ms luego de la presentación del estímulo (Liu, *et al.*, 2009). De manera muy interesante, la información de la categoría también resuena

en estudios con registros no invasivos de EEG a una latencia de ~150 ms (Rousselet, *et al.*, 2002; Thorpe, *et al.*, 1996). La información de la identidad del estímulo fue hallada en la señal de EEG relativamente temprano –entre 150 y 300 ms– (Johnson y Olshausen, 2003, 2005; VanRullen y Thorpe, 2001).

Sin embargo, estos trabajos estuvieron mayormente enfocados sobre la detección de objetos dentro de imágenes de escenas naturales (Johnson y Olshausen, 2003, 2005; Rousselet, *et al.*, 2002; Thorpe, *et al.*, 1996; VanRullen y Thorpe, 2001). Por el contrario en este trabajo, estudiamos una discriminación bastante sutil entre *targets* y *distractores* (E vs \exists a bajo contraste) y con estímulos que requerían estar en la fovea para ser percibidos debido a una máscara que producía un efecto de *crowding*. Bajo estas condiciones observamos en dos experimentos distintos, en donde los sujetos debían mantener la mirada fija, que las diferencias entre *targets* y *distractores* aparecían recién a los 300 ms. Este hecho es consistente con una amplia literatura previa al respecto (Dehaene, *et al.*, 2001; Polich, 2007). Con movimientos oculares libres encontramos una secuencia de potenciales similar.

De forma muy interesante, encontramos una componente temprana (~150-250 ms) capaz de discriminar entre *targets* y *distractores* sólo en el experimento de *free viewing*, donde el sujeto está envuelto en una exploración a través de movimientos oculares –un ambiente más natural para el comportamiento humano– (Henderson, 2003; Najemnik y Geisler, 2005; Sereno y Rayner, 2003).

El análisis de fuentes en el experimento de *free viewing* reveló que los generadores más fuertes de las diferencias tempranas estaban localizados en la porción más anterior de la corteza occipital, cerca del borde occipito-temporal. La actividad neuronal en la corteza occipito-temporal de los humanos está fuertemente influenciada por la atención (Heinze, *et al.*, 1994). Mientras que los humanos pueden detectar *targets* embebidos en una secuencia muy rápida, donde cada estímulo es presentado por un lapso muy breve de tiempo (*rapid serial visual presentation*, RSVP) (Keysers, *et al.*, 2001; Luo y Sajda, 2009; Sergent, *et al.*, 2005), la carga atencional depende fuertemente del intervalo entre imágenes consecutivas (Keysers, *et al.*, 2001). En concordancia con nuestros experimentos controles, estudios previos en estudios con RSVP reportan marcadores neuronales tardíos para la identificación del *target*, con latencias de ~300 ms (Luo y Sajda, 2009; Sergent, *et al.*, 2005). Varios estudios en los que los sujetos debían mantener la mirada fija utilizan manipulaciones experimentales para indicar el momento y el lugar de la presentación del estímulo para maximizar el compromiso atencional (Miniussi, *et al.*, 1999; Rousselet, *et al.*, 2002). Es muy importante notar que el alto compromiso atencional está presente naturalmente en *free viewing* desde el momento de inicio de la fijación o inclusive antes (Dore-Mazars, *et al.*, 2004; Melcher y Colby, 2008) sin necesidad de manipulaciones experimentales, este hecho provee una posible explicación a la observación de diferencias tempranas en la detección del *target* sólo en el experimento de *free viewing*.

Por último, nuestros resultados muestran que los potenciales evocados visuales pueden ser estudiados en paradigmas más naturales al comportamiento humano, donde la posición de la mirada del sujeto no está fija. Con este enfoque encontramos un marcador neurofisiológico temprano de la discriminación del *target*, consistente con los tiempos característicos de las fijaciones en escenas naturales. Esta metodología está ahora lista para ser adaptada a otros paradigmas que permitan investigar las bases neuronales de la visión natural en humanos.

5. Discusión General

A lo largo de la tesis se abordaron con distintas técnicas (comportamiento, esquemas de modelado simples, seguimiento ocular y EEG) varios aspectos de la arquitectura y sintaxis de una tarea compleja.

La complejidad o simplicidad de una tarea se puede definir de muchas formas, pero una definición genérica puede darse utilizando como parámetro la cantidad de grados de libertad involucrados. El campo de las neurociencias cognitivas avanzó enormemente sobre un conjunto de tareas simples, como las operaciones sobre cantidades o números que se presentan en las primeras secciones, en ellas existe típicamente una única dimensión relevante –y todas las otras son balanceadas, como el tamaño, luminosidad, densidad, etc como en los conjuntos de puntos de la sección 4.1–. En estos casos también las respuestas suelen ser unidimensionales, y además típicamente binarias: “mayor o menor”, “par o impar”, “igual o distinto” en el caso de números o cantidades (Dehaene, 2007). Por otra parte, la complejidad de una tarea difiere de la dificultad. Para cualquier persona es muy difícil resolver 438948×874129 , sin embargo puede interpretar imágenes parciales de objetos, integrarlas al movimiento y a los otros sentidos, mientras domina a la perfección los cientos de grados de libertad que tiene su cuerpo. Esto lo logra con una serie de procesos altamente refinados que reducen estos grados de libertad a movimientos estereotipados, por ejemplo la secuencia principal de una sacada que también comparten otros movimientos (Bays y Wolpert, 2007; Harris y Wolpert, 2006), o cierto tipo de estímulos evolutivamente relevantes, como caras o escenas naturales, donde es muy fácil separar los objetos del fondo y extraer información invariante ante transformaciones casi arbitrarias, descartando los detalles (Dragoi, *et al.*, 2001; Feldman y Singh, 2005; Ison y Quiroga, 2008; Kovacs, *et al.*, 1998; Lee y Mumford, 2003; Rao y Ballard, 1999; Reinagel y Zador, 1999; Sigman, *et al.*, 2001). Con esta reducción, siempre terminamos operando sólo sobre un número sorprendentemente acotado de elementos –muchas veces uno o dos–, tanto para la percepción como para la acción.

Por otro lado, existen muchas escalas a las que se puede describir el comportamiento, desde moléculas hasta interacciones entre individuos. En la mayor parte de la tesis nos enfocamos en el nivel del comportamiento de un individuo, pero con la intención de desarmar las medidas comportamentales clásicas –el tiempo de respuesta y los errores– en medidas informativas sobre los procesos que componen la resolución de una tarea. Este esfuerzo es un primer paso para poder vincular modelos biológicamente plausibles con la resolución de una tarea, identificando estructuras cerebrales con funciones perceptuales o cognitivas. En este sentido el trabajo toma un cariz similar a la termodinámica clásica en el paso hacia la mecánica estadística, sentando las bases –en forma de postulados, reglas o ecuaciones simples– que describen el macrofenómeno del comportamiento para después vincularlas con el sustrato neuronal mediante modelos.

Dentro de este marco los resultados más relevantes fueron los siguientes:

En la sección 4.1 mostramos que cuando interfieren dos tareas simples e independientes que deben ejecutarse simultáneamente no se ve afectado ni el promedio ni la distribución de errores. Esta observación contrasta fuertemente con el patrón observado para los RTs, y es un nuevo sustento muy importante para el modelo de cuello de botella serial como explicación de este fenómeno de interferencia (PRP). Este modelo propone que los procesos centrales de selección de la respuesta utilizan los mismos recursos y este conflicto se resuelve de forma serial, estableciendo un

cuello de botella. De este modelo se derivan dos predicciones: 1) Que el RT2 pero no el RT1 se ve retrasado por la interferencia, y 2) que la calidad (los errores) de resolución de ambas tareas no es afectada por la interferencia. La primera fue ampliamente replicada en las últimas décadas, pero la segunda no había sido explorada aún.

En la sección 4.2 abordamos otros dos aspectos del fenómeno de PRP. En primer lugar nos preguntamos si era posible evitar el cuello de botella, convirtiendo estas tareas de decisión en procesos automáticos realizados en paralelo, es decir si el cuello de botella era una propiedad estructural del pensamiento consciente o un correlato de una elección experimental arbitraria de los estímulos y las respuestas. En esta sección evaluamos distintos aspectos de la resolución de cada tarea y de la interferencia a lo largo de un entrenamiento intensivo (15 sesiones de una hora) y concluimos que el cuello de botella no puede ser evitado por el entrenamiento. Por lo tanto, constituye otra propiedad distintiva del pensamiento consciente, como su unicidad (el hecho de ser conscientes de un sólo evento a la vez) y la flexibilidad (el mapeo arbitrario de estímulos y respuestas, y la posibilidad de alterarlo).

En segundo lugar, en esta sección mostramos que el modelo pasivo no alcanza para dar cuenta de todas las observaciones en un experimento de dos tareas, ya que en muchas situaciones se observa un incremento de RT1 para SOAs cortos. Una extensión de este modelo incluye una etapa previa a los procesos de selección de cada respuesta específica, asociada con la iniciación de las respuestas y la selección del orden de respuestas. En esta sección mostramos que esta etapa previa comparte propiedades similares a la proceso de selección de cada tarea, es decir la presencia de un proceso estocástico, la dependencia con el aprendizaje y con la variable crítica en la organización de las respuestas (el SOA), que es la selección asociada a esa etapa. Por lo tanto, es razonable que compita por los mismos recursos, convirtiéndose en un cuello de botella más en la resolución de la tarea doble.

En la sección 4.3 hicimos uso del fenómeno de PRP para separar los componentes de una tarea, y poder estudiar en pacientes con Esclerosis Múltiple como se veían afectadas las distintas etapas de procesamiento. En esta sección observamos que la etapa de reconocimiento del estímulo no era completamente automática en pacientes, como sí lo es en los controles. A partir de esta observación concluimos que parte del proceso de reconocimiento de palabras está afectado por la enfermedad, ya que este proceso que suele ser ejecutado en paralelo está siendo compensado con recursos centrales (seriales), enmascarando el déficit fuera de un protocolo de interferencia.

En la sección 4.4 presentamos la primera extensión de estas ideas hacia tareas intrínsecamente secuenciales, donde una serie de N pasos llevan a la decisión, como la aritmética o la lectura. En esta sección mostramos, en primer lugar, que la organización secuencial de *primero-entrada primero-salido* –característica de los fenómenos de PRP y pestañeo atencional– no es estructural, y que en tareas intrínsecamente secuenciales como la presentada se observa una política de *primero-entrada último-salido*. Y en segundo lugar, mostramos que no es posible extraer (y utilizar) la información simbólica para tareas muy rápidas, recayendo en claves parciales al límite de igualarse a la información no-simbólica, para presentaciones menores a 150 ms.

En la sección 4.5 abordamos el proceso de adquisición y procesamiento de información en un esquema de sacadas y fijaciones, en contraposición a las secciones anteriores en las que los experimentos se realizan fijando la mirada en el centro de la

pantalla. En cuanto a la adquisición de información, determinamos una ventana temporal dentro de la cual es posible detectar un *target*. Esta ventana está incluida dentro de la fijación, en tiempos compatibles con el procesamiento temprano de la información y los fenómenos de remapeo perceptual y supresión sacádica. A su vez, mostramos que dentro de esta ventana el peso que se le asigna a la información (y la calidad de la misma) es asimétrico, alcanzando su valor máximo decenas de milisegundos antes del cierre de la ventana.

Respecto al procesamiento de la información, en esta sección observamos que el fenómeno de pestañeo atencional estaba presente entre *targets* presentados dentro de una única fijación, y en dos fijaciones sucesivas. Este resultado nos lleva a concluir que el procesamiento consciente de la información no interfiere con la adquisición de dicha información, independientemente de si es incorporada con la mirada fija o a través de una secuencia de sacadas y fijaciones. Este resultado permite extrapolar el conocimiento adquirido en protocolos clásicos de pestañeo atencional y PRP a esquemas de visión natural.

En la sección 4.6 fueron muy importantes tanto los resultados como los aspectos técnicos. En esta sección encaramos un experimento de búsqueda visual con movimientos oculares libres, en el que co-registramos la posición de los ojos y la señal del EEG, y lo comparamos con dos experimentos control –con la mirada fija–. A partir de estos resultados concluimos que la mayor parte de las componentes del ERP, tanto las visuales tempranas como las asociadas a la detección del *target* más tardías, son similares entre la situación de ojos fijos y movimientos oculares. Sin embargo, existe una componente asociada a la detección temprana del *target* (entre 150 y 250 ms) presente sólo en la situación de movimientos oculares. Esta observación es muy interesante porque permite compatibilizar los resultados clásicos de EEG con los tiempos característicos de las tareas con movimientos de ojos libres, más naturales en el comportamiento cotidiano.

Como mencionamos en el párrafo anterior esta sección tuvo una implicancia técnica importante, ya que existen muy pocos trabajos que presenten co-registros de EEG y movimientos oculares –de hecho al momento de iniciar estos experimentos no había sido publicado ninguno–, y este sería el primer trabajo en mostrar ERPs asociados a una fijación en el marco de una tarea.

Resumiendo, los resultados presentados en esta tesis muestran que la arquitectura serial es una propiedad estructural del pensamiento consciente, independiente de la adquisición de información a través de movimientos oculares, y que puede ser estudiada desde el comportamiento y desde sus bases neurofisiológicas en situaciones de movimientos oculares.

El trabajo en esta tesis sienta las bases para dos líneas de estudio muy interesantes. La primera es continuar profundizando en la interacción entre el procesamiento de información y la adquisición en un esquema de movimientos oculares. Para ello se podrá utilizar como diseño base el protocolo implementado en la sección 4.5, al que fácilmente se pueden ir introduciendo modificaciones de forma de llevarlo a una situación tipo PRP, o a situaciones en las que haya que integrar la información de varios estímulos, intra o inter fijaciones –componiendo silabas en vez de reportar letras por ejemplo–.

La segunda línea por la cual es muy interesante continuar es sobre las bases neurofisiológicas de tareas más naturales para el ser humano, en las que los movimientos oculares sean críticos. Esta línea es muy importante por varias razones,

en primer lugar permite compatibilizar muchos estudios de neurofisiología hechos con la mirada fija en humanos con los estudios de comportamiento con movimientos oculares también en humanos. Así como también validar en humanos muchos estudios de registros invasivos en monos con la mirada libre. Por último, abre la posibilidad de realizar estudios en tareas con movimientos oculares que son propias del ser humano, y que por lo tanto hasta el momento no era posible estudiar sus bases neuronales, como por ejemplo la lectura o tareas más complejas con imágenes naturales como los experimentos clásicos de Yarbus (1967) (Figura 1.3.1), que constituyeron la chispa inicial para el estudio de los movimientos oculares asociados a una tarea y sin embargo sus correlatos neuronales aún no han sido explorados.

6. Referencias

- Allport, D., Styles, E., y Hsieh, S. (1994). Shifting intentional set: Exploring the dynamic control of tasks. In C. Umiltà & M. Moscovitch (Eds.), *Attention and performance XV* (pp. 421-452). Cambridge, MA: MIT Press.
- Arnell, K. M., y Duncan, J. (2002). Separate and shared sources of dual-task cost in stimulus identification and response selection. *Cognit Psychol*, *44*(2), 105-147.
- Arnell, K. M., Helion, A. M., Hurdelbrink, J. A., y Pasiëka, B. (2004). Dissociating sources of dual-task interference using human electrophysiology. *Psychon Bull Rev*, *11*(1), 77-83.
- Baars, B. J. (1989). *A cognitive theory of consciousness*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Baillet, S., Mosher, J. C., y Leahy, R. M. (2001). Electromagnetic Brain Mapping. *IEEE Signal Processing Magazine*, *18*(6), 14-30.
- Bar, M., Kassam, K. S., Ghuman, A. S., Boshyan, J., Schmid, A. M., Dale, A. M., et al. (2006). Top-down facilitation of visual recognition. *Proc Natl Acad Sci U S A*, *103*(2), 449-454.
- Barbizet, J., y Cany, E. (1968). Clinical and psychometrical study of a patient with memory disturbances. *Int J Neurol*, *7*(1), 44-54.
- Barth, H., La Mont, K., Lipton, J., Dehaene, S., Kanwisher, N., y Spelke, E. (2006). Non-symbolic arithmetic in adults and young children. *Cognition*, *98*(3), 199-222.
- Bays, P. M., y Wolpert, D. M. (2007). Computational principles of sensorimotor control that minimize uncertainty and variability. *J Physiol*, *578*(Pt 2), 387-396.
- Bekinschtein, T. A., Shalom, D. E., Forcato, C., Herrera, M., Coleman, M. R., Manes, F. F., et al. (2009). Classical conditioning in the vegetative and minimally conscious state. *Nat Neurosci*, *12*(10), 1343-1349.
- Binda, P., Morrone, M. C., Ross, J., y Burr, D. C. (2011). Underestimation of perceived number at the time of saccades. *Vision Res*, *51*(1), 34-42.
- Blankertz, B., Tangermann, M., Vidaurre, C., Fazli, S., Sannelli, C., Haufe, S., et al. (2010). The Berlin Brain-Computer Interface: Non-Medical Uses of BCI Technology. *Front Neurosci*, *4*, 198.
- Bonnet, M. C., Allard, M., Dilharreguy, B., Deloire, M., Petry, K. G., y Brochet, B. (2010). Cognitive compensation failure in multiple sclerosis. *Neurology*, *75*(14), 1241-1248.
- Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spat Vis*, *10*(4), 433-436.
- Brisson, B., y Jolicoeur, P. (2007). Cross-modal multitasking processing deficits prior to the central bottleneck revealed by event-related potentials. *Neuropsychologia*, *45*(13), 3038-3053.
- Brody, C. D., Romo, R., y Kepecs, A. (2003). Basic mechanisms for graded persistent activity: discrete attractors, continuous attractors, and dynamic representations. *Curr Opin Neurobiol*, *13*(2), 204-211.
- Burr, D. C., Morrone, M. C., y Ross, J. (1994). Selective suppression of the magnocellular visual pathway during saccadic eye movements. *Nature*, *371*(6497), 511-513.
- Burr, D. C., Ross, J., Binda, P., y Morrone, M. C. (2010). Saccades compress space, time and number. *Trends Cogn Sci*, *14*(12), 528-533.
- Buschke, H., y Fuld, P. A. (1974). Evaluating storage, retention, and retrieval in disordered memory and learning. *Neurology*, *24*(11), 1019-1025.
- Buswell, G. T. (1937). *How adults read*. Chicago: University of Chicago Press.
- Canolty, R. T., Soltani, M., Dalal, S. S., Edwards, E., Dronkers, N. F., Nagarajan, S. S., et al. (2007). Spatiotemporal dynamics of word processing in the human brain. *Front Neurosci*, *1*(1), 185-196.
- Cantlon, J. F., y Brannon, E. M. (2006). Shared system for ordering small and large numbers in monkeys and humans. *Psychol Sci*, *17*(5), 401-406.
- Castelhano, M. S., y Henderson, J. M. (2008). Stable individual differences across images in human saccadic eye movements. *Can J Exp Psychol*, *62*(1), 1-14.
- Colby, C. L., y Goldberg, M. E. (1999). Space and attention in parietal cortex. *Annu Rev Neurosci*, *22*, 319-349.

- Compton, B. J., y Logan, G. D. (1991). The transition from algorithm to retrieval in memory-based theories of automaticity. *Mem Cognit*, 19(2), 151-158.
- Corallo, G., Sackur, J., Dehaene, S., y Sigman, M. (2008). Limits on introspection: distorted subjective time during the dual-task bottleneck. *Psychol Sci*, 19(11), 1110-1117.
- Cordes, S., Gelman, R., Gallistel, C. R., y Whalen, J. (2001). Variability signatures distinguish verbal from nonverbal counting for both large and small numbers. *Psychon Bull Rev*, 8(4), 698-707.
- Crick, F., y Koch, C. (2003). A framework for consciousness. *Nat Neurosci*, 6(2), 119-126.
- Crouzet, S. M., Kirchner, H., y Thorpe, S. J. (2010). Fast saccades toward faces: face detection in just 100 ms. *J Vis*, 10(4), 16 11-17.
- Chun, M. M., y Potter, M. C. (1995). A two-stage model for multiple target detection in rapid serial visual presentation. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 21(1), 109-127.
- De Jong, R. (1993). Multiple bottlenecks in overlapping task performance. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 19(5), 965-980.
- De Jong, R. (1995). The role of preparation in overlapping-task performance. *Q J Exp Psychol A*, 48(1), 2-25.
- de Lange, F. P., Jensen, O., y Dehaene, S. (2010). Accumulation of evidence during sequential decision making: the importance of top-down factors. *J Neurosci*, 30(2), 731-738.
- De Pisapia, N., Kaunitz, L., y Melcher, D. (2010). Backward masking and unmasking across saccadic eye movements. *Curr Biol*, 20(7), 613-617.
- Deco, G., y Rolls, E. T. (2006). Decision-making and Weber's law: a neurophysiological model. *Eur J Neurosci*, 24(3), 901-916.
- Dehaene, S. (2007). Symbols and quantities in parietal cortex: elements of a mathematical theory of number representation and manipulation. In P. Haggard, Y. Rossetti & M. Kawato (Eds.), *Sensorimotor foundations of higher cognition, volume XXII of Attention and Performance*: Harvard University Press.
- Dehaene, S., Dupoux, E., y Mehler, J. (1990). Is numerical comparison digital: Analogical and Symbolic effects in two-digit number comparison. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 626-641.
- Dehaene, S., Kerszberg, M., y Changeux, J. P. (1998). A neuronal model of a global workspace in effortful cognitive tasks. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 95(24), 14529-14534.
- Dehaene, S., y Naccache, L. (2001). Towards a cognitive neuroscience of consciousness: basic evidence and a workspace framework. *Cognition*, 79(1-2), 1-37.
- Dehaene, S., Naccache, L., Cohen, L., Bihan, D. L., Mangin, J. F., Poline, J. B., et al. (2001). Cerebral mechanisms of word masking and unconscious repetition priming. *Nat Neurosci*, 4(7), 752-758.
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., y Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology*, 20, 487-506.
- Dehaene, S., Sergent, C., y Changeux, J. P. (2003). A neuronal network model linking subjective reports and objective physiological data during conscious perception. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 100(14), 8520-8525.
- Del Cul, A., Baillet, S., y Dehaene, S. (2007). Brain dynamics underlying the nonlinear threshold for access to consciousness. *PLoS Biol*, 5(10), e260.
- Del Cul, A., Dehaene, S., y Leboyer, M. (2006). Preserved subliminal processing and impaired conscious access in schizophrenia. *Arch Gen Psychiatry*, 63(12), 1313-1323.
- Delorme, A., y Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *J Neurosci Methods*, 134(1), 9-21.
- Dell'acqua, R., Jolicoeur, P., Vespignani, F., y Toffanin, P. (2005). Central processing overlap modulates P3 latency. *Exp Brain Res*, 165(1), 54-68.
- Di Lollo, V., Kawahara, J., Shahab Ghorashi, S. M., y Enns, J. T. (2005). The attentional blink: resource depletion or temporary loss of control? *Psychol Res*, 69(3), 191-200.
- Diederich, A., y Busemeyer, J. R. (2003). Simple matrix methods for analyzing diffusion models of choice probability,

- choice response time, and simple response time. *Journal of Mathematical Psychology*, 47(3), 304-322
- Dijksterhuis, A., Bos, M. W., Nordgren, L. F., y van Baaren, R. B. (2006). On making the right choice: the deliberation-without-attention effect. *Science*, 311(5763), 1005-1007.
- Dimigen, O., Valsecchi, M., Sommer, W., y Kliegl, R. (2009). Human Microsaccade-Related Visual Brain Responses. *Journal of Neuroscience*, 29(39), 12321-12331.
- Donchin, E., y Coles, M. G. H. (1998). Context updating and the P300. *Behav Brain Res*, 21, 152-154.
- Dore-Mazars, K., Pouget, P., y Beauvillain, C. (2004). Attentional selection during preparation of eye movements. *Psychol Res*, 69(1-2), 67-76.
- Dragoi, V., Sharma, J., Miller, E. K., y Sur, M. (2002). Dynamics of neuronal sensitivity in visual cortex and local feature discrimination. *Nat Neurosci*, 5(9), 883-891.
- Dragoi, V., y Sur, M. (2006). Image structure at the center of gaze during free viewing. *J Cogn Neurosci*, 18(5), 737-748.
- Dragoi, V., Turcu, C. M., y Sur, M. (2001). Stability of cortical responses and the statistics of natural scenes. *Neuron*, 32(6), 1181-1192.
- Duda, R., Hart, P., y Stork, D. (2001). *Pattern Classification*. New York: John Wiley & Sons, Inc.,.
- Duhamel, J. R., Colby, C. L., y Goldberg, M. E. (1992). The updating of the representation of visual space in parietal cortex by intended eye movements. *Science*, 255(5040), 90-92.
- Duncan, E. M., y McFarland, C. E., Jr. (1980). Isolating the effects of symbolic distance and semantic congruity in comparative judgments: an additive-factors analysis. *Mem Cognit*, 8(6), 612-622.
- Dux, P. E., y Marois, R. (2009). The attentional blink: a review of data and theory. *Atten Percept Psychophys*, 71(8), 1683-1700.
- Edelman, G. M., y Tononi, G. (2000). *A universe of consciousness : how matter becomes imagination* (1st ed.). New York, NY: Basic Books.
- Edwards, W. (1965). Optimal strategies for seeking information: Models for statistics, choice reaction times, and human information processing. *Journal of Mathematical Psychology*, 41, 260-274.
- Engbert, R. (2006). Microsaccades: A microcosm for research on oculomotor control, attention, and visual perception. *Prog Brain Res*, 154, 177-192.
- Engbert, R., y Kliegl, R. (2001). Mathematical models of eye movements in reading: a possible role for autonomous saccades. *Biol Cybern*, 85(2), 77-87.
- Engbert, R., y Kliegl, R. (2003). Microsaccades uncover the orientation of covert attention. *Vision Res*, 43(9), 1035-1045.
- Engbert, R., Longtin, A., y Kliegl, R. (2002). A dynamical model of saccade generation in reading based on spatially distributed lexical processing. *Vision Res*, 42(5), 621-636.
- Engbert, R., y Mergenthaler, K. (2006). Microsaccades are triggered by low retinal image slip. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 103(18), 7192-7197.
- Engbert, R., Nuthmann, A., Richter, E. M., y Kliegl, R. (2005). SWIFT: a dynamical model of saccade generation during reading. *Psychol Rev*, 112(4), 777-813.
- Enns, J. T., y Di Lollo, V. (2000). What's new in visual masking? *Trends Cogn Sci*, 4(9), 345-352.
- Feldman, J., y Singh, M. (2005). Information along contours and object boundaries. *Psychol Rev*, 112(1), 243-252.
- Felleman, D. J., y Van Essen, D. C. (1991). Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex. *Cereb Cortex*, 1(1), 1-47.
- Ferlazzo, F., Fagioli, S., Sdoia, S., y Di Nocera, F. (2007). Goal-completion processes affect the attentional blink. *European Journal of Cognitive Psychology*, 20(4), 697 – 710.
- Ferlazzo, F., Lucido, S., Di Nocera, F., Fagioli, S., y Sdoia, S. (2007). Switching between goals mediates the attentional blink effect. *Exp Psychol*, 54(2), 89-98.
- Findlay, J. M., y Walker, R. (1999). A model of saccade generation based on parallel processing and competitive inhibition. *Behav Brain Sci*, 22(4), 661-674; discussion 674-721.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., y McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state". A practical

- method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *J Psychiatr Res*, 12(3), 189-198.
- Foxe, J. J., y Simpson, G. V. (2002). Flow of activation from V1 to frontal cortex in humans. A framework for defining "early" visual processing. *Exp Brain Res*, 142(1), 139-150.
- Freedman, D. J., Riesenhuber, M., Poggio, T., y Miller, E. K. (2001). Categorical representation of visual stimuli in the primate prefrontal cortex. *Science*, 291(5502), 312-316.
- Fries, P., Scheeringa, R., y Oostenveld, R. (2008). Finding gamma. *Neuron*, 58(3), 303-305.
- Fujii, N., y Graybiel, A. M. (2005). Time-varying covariance of neural activities recorded in striatum and frontal cortex as monkeys perform sequential-saccade tasks. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 102(25), 9032-9037.
- Gallistel, C. R., y Gelman, I. I. (2000). Non-verbal numerical cognition: from reals to integers. *Trends Cogn Sci*, 4(2), 59-65.
- Gelbard-Sagiv, H., Mukamel, R., Harel, M., Malach, R., y Fried, I. (2008). Internally generated reactivation of single neurons in human hippocampus during free recall. *Science*, 322(5898), 96-101.
- Gilbert, C. D., y Sigman, M. (2007). Brain states: top-down influences in sensory processing. *Neuron*, 54(5), 677-696.
- Gilbert, C. D., Sigman, M., y Crist, R. E. (2001). The neural basis of perceptual learning. *Neuron*, 31(5), 681-697.
- Gold, J. I., y Shadlen, M. N. (2001). Neural computations that underlie decisions about sensory stimuli. *Trends Cogn Sci*, 5(1), 10-16.
- Gold, J. I., y Shadlen, M. N. (2002). Banburismus and the brain: decoding the relationship between sensory stimuli, decisions, and reward. *Neuron*, 36(2), 299-308.
- Grasman, R. P., Wagenmakers, E. J., y van der Maas, H. L. (2009). On the mean and variance of response times under the diffusion model with an application to parameter estimation. *Journal of Mathematical Psychology*, 53(2), 55-68.
- Gray, C. M., Konig, P., Engel, A. K., y Singer, W. (1989). Oscillatory responses in cat visual cortex exhibit inter-columnar synchronization which reflects global stimulus properties. *Nature*, 338(6213), 334-337.
- Graziano, M., Parra, L. C., y Sigman, M. (2010). Neurophysiology of perceived confidence. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 1, 2818-2821.
- Graziano, M., y Sigman, M. (2009). The spatial and temporal construction of confidence in the visual scene. *PLoS One*, 4(3), e4909.
- Greenwald, A. G. (2003). On doing two things at once: III. Confirmation of perfect timesharing when simultaneous tasks are ideomotor compatible. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 29(5), 859-868.
- Greenwald, A. G., y Shulman, H. G. (1973). On doing two things at once. II. Elimination of the psychological refractory period effect. *J Exp Psychol*, 101(1), 70-76.
- Gronwall, D. M. (1977). Paced auditory serial-addition task: a measure of recovery from concussion. *Percept Mot Skills*, 44(2), 367-373.
- Guthrie, B. L., Porter, J. D., y Sparks, D. L. (1983). Corollary discharge provides accurate eye position information to the oculomotor system. *Science*, 221(4616), 1193-1195.
- Gutnisky, D. A., y Dragoi, V. (2008). Adaptive coding of visual information in neural populations. *Nature*, 452(7184), 220-224.
- Gwin, J. T., Gramann, K., Makeig, S., y Ferris, D. P. (2010). Removal of movement artifact from high-density EEG recorded during walking and running. *J Neurophysiol*, 103(6), 3526-3534.
- Gwin, J. T., Gramann, K., Makeig, S., y Ferris, D. P. (2011). Electrocortical activity is coupled to gait cycle phase during treadmill walking. *Neuroimage*, 54(2), 1289-1296.
- Hanes, D. P., Patterson, W. F., 2nd, y Schall, J. D. (1998). Role of frontal eye fields in countermanding saccades: visual, movement, and fixation activity. *J Neurophysiol*, 79(2), 817-834.
- Harnad, S. (1990). The symbol grounding problem. *Physica D*, 42, 335-346.
- Harris, C. M., y Wolpert, D. M. (2006). The main sequence of saccades optimizes speed-accuracy trade-off. *Biol Cybern*, 95(1), 21-29.

- Hayhoe, M., y Ballard, D. (2005). Eye movements in natural behavior. *Trends Cogn Sci*, 9(4), 188-194.
- Heathcote, A. (2004). Fitting wald and ex-Wald distributions to response time data: an example using functions for the S-PLUS package. *Behav Res Methods Instrum Comput*, 36(4), 678-694.
- Heathcote, A., Brown, S., y Mewhort, D. J. (2000). The power law repealed: the case for an exponential law of practice. *Psychon Bull Rev*, 7(2), 185-207.
- Heinze, H. J., Mangun, G. R., Burchert, W., Hinrichs, H., Scholz, M., Munte, T. F., et al. (1994). Combined spatial and temporal imaging of brain activity during visual selective attention in humans. *Nature*, 372(6506), 543-546.
- Henderson, J. M. (2003). Human gaze control during real-world scene perception. *Trends Cogn Sci*, 7(11), 498-504.
- Henderson, J. M., Chanceaux, M., y Smith, T. J. (2009). The influence of clutter on real-world scene search: evidence from search efficiency and eye movements. *J Vis*, 9(1), 32 31-38.
- Herrmann, C. S., Munk, M. H., y Engel, A. K. (2004). Cognitive functions of gamma-band activity: memory match and utilization. *Trends Cogn Sci*, 8(8), 347-355.
- Hillyard, S. A., Vogel, E. K., y Luck, S. J. (1998). Sensory gain control (amplification) as a mechanism of selective attention: electrophysiological and neuroimaging evidence. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 353(1373), 1257-1270.
- Hommel, B., Kessler, K., Schmitz, F., Gross, J., Akyurek, E., Shapiro, K., et al. (2006). How the brain blinks: towards a neurocognitive model of the attentional blink. *Psychol Res*, 70(6), 425-435.
- Hosmer, D. W., y Lemeshow, S. (2004). *Applied logistic regression*: Wiley-Interscience.
- Huang, M. X., Mosher, J. C., y Leahy, R. M. (1999). A sensor-weighted overlapping-sphere head model and exhaustive head model comparison for MEG. *Phys Med Biol*, 44(2), 423-440.
- Indow, T., y Ida, M. (1977). Scaling of dot numerosity. *Perception and Psychophysics*, 22, 265-276.
- Ison, M. J., y Quiroga, R. Q. (2008). Selectivity and invariance for visual object perception. *Front Biosci*, 13, 4889-4903.
- Izard, V., y Dehaene, S. (2008). Calibrating the mental number line. *Cognition*, 106(3), 1221-1247.
- Jentzsch, I., Leuthold, H., y Ulrich, R. (2007). Decomposing sources of response slowing in the PRP paradigm. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 33(3), 610-626.
- Jerbi, K., Ossandon, T., Hamame, C. M., Senova, S., Dalal, S. S., Jung, J., et al. (2009). Task-related gamma-band dynamics from an intracerebral perspective: review and implications for surface EEG and MEG. *Hum Brain Mapp*, 30(6), 1758-1771.
- Jiang, H., Saxe, R., y Kanwisher, N. (2004). fMRI provides new constraints on Theories of the Psychological Refractory Period. (*In press*).
- Jin, D. Z., Fujii, N., y Graybiel, A. M. (2009). Neural representation of time in cortico-basal ganglia circuits. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 106(45), 19156-19161.
- Johnson, J. S., y Olshausen, B. A. (2003). Timecourse of neural signatures of object recognition. *J Vis*, 3(7), 499-512.
- Johnson, J. S., y Olshausen, B. A. (2005). The earliest EEG signatures of object recognition in a cued-target task are postsensory. *J Vis*, 5(4), 299-312.
- Jolicoeur, P. (1999). Concurrent Response-Selection Demands Modulate the Attentional Blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 25(4), 1097-1113.
- Jolicoeur, P., Brisson, B., y Robitaille, N. (2008). Dissociation of the N2pc and sustained posterior contralateral negativity in a choice response task. *Brain Res*, 1215, 160-172.
- Jubault, T., Ody, C., y Koechlin, E. (2007). Serial organization of human behavior in the inferior parietal cortex. *J Neurosci*, 27(41), 11028-11036.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and Effort*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc: Englewood Cliffs.
- Keil, A., Muller, M. M., Gruber, T., Wienbruch, C., y Elbert, T. (2001). Human large-scale oscillatory brain activity during an operant shaping procedure. *Brain Res Cogn Brain Res*, 12(3), 397-407.

- Keren, A. S., Yuval-Greenberg, S., y Deouell, L. Y. (2010). Saccadic spike potentials in gamma-band EEG: characterization, detection and suppression. *Neuroimage*, 49(3), 2248-2263.
- Keysers, C., Xiao, D. K., Foldiak, P., y Perrett, D. I. (2001). The speed of sight. *J Cogn Neurosci*, 13(1), 90-101.
- Kiani, R., Esteky, H., Mirpour, K., y Tanaka, K. (2007). Object category structure in response patterns of neuronal population in monkey inferior temporal cortex. *J Neurophysiol*, 97(6), 4296-4309.
- Kirchner, H., Barbeau, E. J., Thorpe, S. J., Regis, J., y Liegeois-Chauvel, C. (2009). Ultra-rapid sensory responses in the human frontal eye field region. *J Neurosci*, 29(23), 7599-7606.
- Kirchner, H., y Thorpe, S. J. (2006). Ultra-rapid object detection with saccadic eye movements: visual processing speed revisited. *Vision Res*, 46(11), 1762-1776.
- Klapp, S. T., Boches, C. A., Trabert, M. L., y Logan, G. D. (1991a). Automatizing Alphabet Arithmetic I: Is Extended Practice Necessary to Produce Automaticity? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 17(2), 179-195.
- Klapp, S. T., Boches, C. A., Trabert, M. L., y Logan, G. D. (1991b). Automatizing Alphabet Arithmetic II: Are There Practice Effects After Automaticity Is Achieved? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 17(2), 196-209.
- Koch, C. (2004). *The quest for consciousness : a neurobiological approach*. Denver, Colo.: Roberts and Co.
- Koch, K., McLean, J., Segev, R., Freed, M. A., Berry, M. J., 2nd, Balasubramanian, V., et al. (2006). How much the eye tells the brain. *Curr Biol*, 16(14), 1428-1434.
- Koehlin, E., Ody, C., y Kouneiher, F. (2003). The architecture of cognitive control in the human prefrontal cortex. *Science*, 302(5648), 1181-1185.
- Koehlin, E., y Summerfield, C. (2007). An information theoretical approach to prefrontal executive function. *Trends Cogn Sci*, 11(6), 229-235.
- Kovacs, I., Feher, A., y Julesz, B. (1998). Medial-point description of shape: a representation for action coding and its psychophysical correlates. *Vision Res*, 38(15-16), 2323-2333.
- Kreiter, A. K., y Singer, W. (1996). Stimulus-dependent synchronization of neuronal responses in the visual cortex of the awake macaque monkey. *J Neurosci*, 16(7), 2381-2396.
- Krueger, L. E. (1982). Single judgments of numerosity. *Percept Psychophys*, 31(2), 175-182.
- Krueger, L. E. (1984). Perceived numerosity: a comparison of magnitude production, magnitude estimation, and discrimination judgments. *Percept Psychophys*, 35(6), 536-542.
- Kurtzke, J. F. (1983). Rating neurologic impairment in multiple sclerosis: an expanded disability status scale (EDSS). *Neurology*, 33(11), 1444-1452.
- Lachaux, J. P., George, N., Tallon-Baudry, C., Martinerie, J., Hugueville, L., Minotti, L., et al. (2005). The many faces of the gamma band response to complex visual stimuli. *Neuroimage*, 25(2), 491-501.
- Lagarias, J. C., Reed, J. A., Wright, M. H., y Wright, P. E. (1998). Convergence Properties of the Nelder-Mead Simplex Method in Low Dimensions. *SIAM Journal of Optimization*, 9(1), 112-147.
- Laming, D. (1968). *Information theory of choice-reaction times*. New York: Academic Press.
- Land, M. F. (1999). Motion and vision: why animals move their eyes. *J Comp Physiol A*, 185(4), 341-352.
- Laubrock, J., Engbert, R., y Kliegl, R. (2005). Microsaccade dynamics during covert attention. *Vision Res*, 45(6), 721-730.
- Laubrock, J., Kliegl, R., y Engbert, R. (2006). SWIFT explorations of age differences in eye movements during reading. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 30(6), 872-884.
- Lee, T. S., y Mumford, D. (2003). Hierarchical Bayesian inference in the visual cortex. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*, 20(7), 1434-1448.
- Lien, M. C., McCann, R. S., Ruthruff, E., y Proctor, R. W. (2005). Dual-task performance with ideomotor-compatible tasks: is the central processing bottleneck intact, bypassed, or shifted in locus? *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 31(1), 122-144.

- Lien, M. C., y Proctor, R. W. (2000). Multiple spatial correspondence effects on dual-task performance. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 26(4), 1260-1280.
- Lien, M. C., Proctor, R. W., y Allen, P. A. (2002). Ideomotor compatibility in the psychological refractory period effect: 29 years of oversimplification. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 28(2), 396-409.
- Lien, M. C., Schweickert, R., y Proctor, R. W. (2003). Task switching and response correspondence in the psychological refractory period paradigm. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 29(3), 692-712.
- Link, S. W. (1992). *The wave theory of difference and similarity*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Link, S. W., y Heath, R. A. (1975). A sequential theory of psychological discrimination. *Psychometrika*, 40, 77-111.
- Liu, H., Agam, Y., Madsen, J. R., y Kreiman, G. (2009). Timing, timing, timing: fast decoding of object information from intracranial field potentials in human visual cortex. *Neuron*, 62(2), 281-290.
- Liversedge, S. P., y Findlay, J. M. (2000). Saccadic eye movements and cognition. *Trends Cogn Sci*, 4(1), 6-14.
- Logan, G. D., y Burkell, J. (1986). Dependence and independence in responding to double stimulation: A comparison of stop, change, and dual-task paradigms. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 12, 549-563.
- Logan, G. D., y Gordon, R. (2001). Executive control of visual attention in dual tasks. *Psychol Rev*, 108(2), 393-434.
- Luce, R. D. (1986). *Response Times*. New York: Oxford University Press.
- Luck, S. J. (1998). Sources of Dual-Task Interference: Evidence from Human Electrophysiology. *Psychological Science*, 9(3), 223-227.
- Luck, S. J. (2005). *An Introduction to the Event-Related Potential Technique* (1st Edition ed.). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Luck, S. J., y Hillyard, S. A. (1994a). Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology*, 31(3), 291-308.
- Luck, S. J., y Hillyard, S. A. (1994b). Spatial filtering during visual search: evidence from human electrophysiology. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 20(5), 1000-1014.
- Luck, S. J., Woodman, G. F., y Vogel, E. K. (2000). Event-related potential studies of attention. *Trends Cogn Sci*, 4(11), 432-440.
- Luo, A., y Sajda, P. (2009). Comparing neural correlates of visual target detection in serial visual presentations having different temporal correlations. *Front Hum Neurosci*, 3, 5.
- Lutz, A., Lachaux, J. P., Martinerie, J., y Varela, F. J. (2002). Guiding the study of brain dynamics by using first-person data: synchrony patterns correlate with ongoing conscious states during a simple visual task. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 99(3), 1586-1591.
- Lutzenberger, W., Pulvermuller, F., Elbert, T., y Birbaumer, N. (1995). Visual stimulation alters local 40-Hz responses in humans: an EEG-study. *Neurosci Lett*, 183(1-2), 39-42.
- Machens, C. K., Romo, R., y Brody, C. D. (2005). Flexible control of mutual inhibition: a neural model of two-interval discrimination. *Science*, 307(5712), 1121-1124.
- Maquestiaux, F., Lague-Beauvais, M., Ruthruff, E., y Bherer, L. (2008). Bypassing the central bottleneck after single-task practice in the psychological refractory period paradigm: evidence for task automatization and greedy resource recruitment. *Mem Cognit*, 36(7), 1262-1282.
- Marti, S., Sackur, J., Sigman, M., y Dehaene, S. (2010). Mapping introspection's blind spot: Reconstruction of dual-task phenomenology using quantified introspection. *Cognition*, 115(2), 303-313.
- Martinez-Conde, S., Macknik, S. L., y Hubel, D. H. (2004). The role of fixational eye movements in visual perception. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(3), 229-240.
- Martinez-Conde, S., Macknik, S. L., Troncoso, X. G., y Dyar, T. A. (2006). Microsaccades counteract visual fading during fixation. *Neuron*, 49(2), 297-305.
- Martinez-Conde, S., Macknik, S. L., Troncoso, X. G., y Hubel, D. H. (2009). Microsaccades: a neurophysiological analysis. *Trends in Neurosciences*, 32(9), 463-475.

- Martinez, A., Anllo-Vento, L., Sereno, M. I., Frank, L. R., Buxton, R. B., Dubowitz, D. J., et al. (1999). Involvement of striate and extrastriate visual cortical areas in spatial attention. *Nat Neurosci*, 2(4), 364-369.
- McAuley, J. H., Rothwell, J. C., y Marsden, C. D. (1999). Human anticipatory eye movements may reflect rhythmic central nervous activity. *Neuroscience*, 94(2), 339-350.
- McConkie, G. W., y Rayner, K. (1973). *The Span of the Effective Stimulus during Fixations in Reading*. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Assn, New Orleans.
- McLeod, P. (1977). A dual task response modality effect: Support for multiprocessor models of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*(29), 651-667.
- Meiran, N., Chorev, Z., y Sapir, A. (2000). Component processes in task switching. *Cognit Psychol*, 41(3), 211-253.
- Melcher, D. (2008). Dynamic, object-based remapping of visual features in trans-saccadic perception. *J Vis*, 8(14), 2 1-17.
- Melcher, D. (2009). Selective attention and the active remapping of object features in trans-saccadic perception. *Vision Res*, 49(10), 1249-1255.
- Melcher, D., y Colby, C. L. (2008). Trans-saccadic perception. *Trends Cogn Sci*, 12(12), 466-473.
- Melloni, L., Schwiedrzik, C. M., Rodriguez, E., y Singer, W. (2009). (Micro)Saccades, corollary activity and cortical oscillations. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(6), 239-245.
- Melloni, L., Schwiedrzik, C. M., Wibrals, M., Rodriguez, E., y Singer, W. (2009). Response to: Yuval-Greenberg et al., "Transient Induced Gamma-Band Response in EEG as a Manifestation of Miniature Saccades." *Neuron* 58, 429-441. *Neuron*, 62(1), 8-10; author reply 10-12.
- Merriam, E. P., y Colby, C. L. (2005). Active vision in parietal and extrastriate cortex. *Neuroscientist*, 11(5), 484-493.
- Millan, J. D., Rupp, R., Muller-Putz, G. R., Murray-Smith, R., Giugliemma, C., Tangemann, M., et al. (2010). Combining Brain-Computer Interfaces and Assistive Technologies: State-of-the-Art and Challenges. *Front Neurosci*, 4.
- Miniussi, C., Wilding, E. L., Coull, J. T., y Nobre, A. C. (1999). Orienting attention in time. Modulation of brain potentials. *Brain*, 122 (Pt 8), 1507-1518.
- Moller, F., Laursen, M. L., Tygesen, J., y Sjolie, A. K. (2002). Binocular quantification and characterization of microsaccades. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 240(9), 765-770.
- Mormann, F., Kornblith, S., Quiroga, R. Q., Kraskov, A., Cerf, M., Fried, I., et al. (2008). Latency and selectivity of single neurons indicate hierarchical processing in the human medial temporal lobe. *J Neurosci*, 28(36), 8865-8872.
- Moro, S. I., Tolboom, M., Khayat, P. S., y Roelfsema, P. R. (2010). Neuronal activity in the visual cortex reveals the temporal order of cognitive operations. *J Neurosci*, 30(48), 16293-16303.
- Morrison, R. E. (1984). Manipulation of stimulus onset delay in reading: evidence for parallel programming of saccades. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 10(5), 667-682.
- Morrone, M. C., Ross, J., y Burr, D. (2005). Saccadic eye movements cause compression of time as well as space. *Nat Neurosci*, 8(7), 950-954.
- Moyer, R. S., y Landauer, T. K. (1967). Time required for judgements of numerical inequality. *Nature*, 215(5109), 1519-1520.
- Najemnik, J., y Geisler, W. S. (2005). Optimal eye movement strategies in visual search. *Nature*, 434(7031), 387-391.
- Najemnik, J., y Geisler, W. S. (2009). Simple summation rule for optimal fixation selection in visual search. *Vision Res*, 49(10), 1286-1294.
- Nieder, A. (2005). Counting on neurons: the neurobiology of numerical competence. *Nat Rev Neurosci*, 6(3), 177-190.
- Nieder, A., y Dehaene, S. (2009). Representation of number in the brain. *Annu Rev Neurosci*, 32, 185-208.
- Nieder, A., y Miller, E. K. (2003). Coding of cognitive magnitude: compressed scaling of numerical information in the primate prefrontal cortex. *Neuron*, 37(1), 149-157.
- Nuthmann, A., Smith, T. J., Engbert, R., y Henderson, J. M. (2010). CRISP: a computational model of fixation durations in scene viewing. *Psychol Rev*, 117(2), 382-405.

- Olivers, C. N., y Meeter, M. (2008). A boost and bounce theory of temporal attention. *Psychol Rev*, 115(4), 836-863.
- Osman, A., y Moore, C. M. (1993). The locus of dual-task interference: psychological refractory effects on movement-related brain potentials. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 19(6), 1292-1312.
- Ossandon, J. P., Helo, A. V., Montefusco-Siegmund, R., y Maldonado, P. E. (2010). Superposition Model Predicts EEG Occipital Activity during Free Viewing of Natural Scenes. *Journal of Neuroscience*, 30(13), 4787-4795.
- Otero-Millan, J., Troncoso, X. G., Macknik, S. L., Serrano-Pedraza, I., y Martinez-Conde, S. (2008). Saccades and microsaccades during visual fixation, exploration, and search: foundations for a common saccadic generator. *J Vis*, 8(14), 21 21-18.
- Pachella, R. G. (1973). The Interpretation of Reaction Time in Information Processing Research.
- Pantev, C. (1995). Evoked and induced gamma-band activity of the human cortex. *Brain Topogr*, 7(4), 321-330.
- Pare, M., y Hanes, D. P. (2003). Controlled movement processing: superior colliculus activity associated with countermanded saccades. *J Neurosci*, 23(16), 6480-6489.
- Parks, N. A., y Corballis, P. M. (2010). Human transsaccadic visual processing: presaccadic remapping and postsaccadic updating. *Neuropsychologia*, 48(12), 3451-3458.
- Pashler, H. (1984). Processing stages in overlapping tasks: evidence for a central bottleneck. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 10(3), 358-377.
- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: data and theory. *Psychol Bull*, 116(2), 220-244.
- Pashler, H., Carrier, M., y Hoffman, J. (1993). Saccadic eye movements and dual-task interference. *Q J Exp Psychol A*, 46(1), 51-82.
- Pashler, H., y Johnston, J. C. (1989). Chronometric evidence for central postponement in temporally overlapping tasks. *QJEP*, 41A, 19-45.
- Pashler, H., y Johnston, J. C. (1998). Attentional limitations in dual-task performance. In H. Pashler (Ed.), *Attention* (pp. 155-189). Hove: Psychology Press/erlbaum.
- Pashler, H., Johnston, J. C., y Ruthruff, E. (2001). Attention and Performance. *Ann.Rev.Psychol.*, 52, 629-651.
- Piazza, M., Izard, V., Pinel, P., Le Bihan, D., y Dehaene, S. (2004). Tuning curves for approximate numerosity in the human intraparietal sulcus. *Neuron*, 44(3), 547-555.
- Pica, P., Lemer, C., Izard, V., y Dehaene, S. (2004). Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Science*, 306(5695), 499-503.
- Pinel, P., Piazza, M., Le Bihan, D., y Dehaene, S. (2004). Distributed and overlapping cerebral representations of number, size, and luminance during comparative judgments. *Neuron*, 41(6), 983-993.
- Polich, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clin Neurophysiol*, 118(10), 2128-2148.
- Polman, C. H., Reingold, S. C., Edan, G., Filippi, M., Hartung, H. P., Kappos, L., et al. (2005). Diagnostic criteria for multiple sclerosis: 2005 revisions to the "McDonald Criteria". *Ann Neurol*, 58(6), 840-846.
- Posner, M. I. (2005). Timing the brain: mental chronometry as a tool in neuroscience. *PLoS Biol*, 3(2), e51.
- Posner, M. I., y Dehaene, S. (1994). Attentional networks. *Trends Neurosci*, 17(2), 75-79.
- Posner, M. I., y McLeod, P. (1982). Information processing models--in search of elementary operations. *Annu Rev Psychol*, 33, 477-514.
- Quian Quiroga, R., Kraskov, A., Koch, C., y Fried, I. (2009). Explicit encoding of multimodal percepts by single neurons in the human brain. *Curr Biol*, 19(15), 1308-1313.
- Quiroga, R. Q., Reddy, L., Kreiman, G., Koch, C., y Fried, I. (2005). Invariant visual representation by single neurons in the human brain. *Nature*, 435(7045), 1102-1107.
- Rao, R. P., y Ballard, D. H. (1999). Predictive coding in the visual cortex: a functional interpretation of some extra-classical receptive-field effects. *Nat Neurosci*, 2(1), 79-87.

- Rao, S. M. (1991). *A Manual for the Brief, Repeatable Battery of Neuropsychological Tests in Multiple Sclerosis*.
- Rao, S. M., Leo, G. J., Bernardin, L., y Unverzagt, F. (1991). Cognitive dysfunction in multiple sclerosis. I. Frequency, patterns, and prediction. *Neurology*, 41(5), 685-691.
- Ratcliff, R. (1978). A theory of memory retrieval. *Psych.Rev.*, 85, 59-108.
- Ratcliff, R. (1988). Continuous versus discrete information processing modeling accumulation of partial information. *Psychol Rev*, 95(2), 238-255.
- Ratcliff, R. (2002). A diffusion model account of response time and accuracy in a brightness discrimination task: fitting real data and failing to fit fake but plausible data. *Psychon Bull Rev*, 9(2), 278-291.
- Ratcliff, R., Gomez, P., y McKoon, G. (2004). A diffusion model account of the lexical decision task. *Psychol Rev*, 111(1), 159-182.
- Ratcliff, R., y McKoon, G. (2008). The diffusion decision model: theory and data for two-choice decision tasks. *Neural Comput*, 20(4), 873-922.
- Ratcliff, R., y Rouder, J. N. (1998). Modeling Response Times for Two-Choice Decisions. *Psychological Science*, 9(5), 347-356.
- Ratcliff, R., y Smith, P. L. (2004). A comparison of sequential sampling models for two-choice reaction time. *Psychol Rev*, 111(2), 333-367.
- Ratcliff, R., Thapar, A., Gomez, P., y McKoon, G. (2004). A diffusion model analysis of the effects of aging in the lexical-decision task. *Psychol Aging*, 19(2), 278-289.
- Ratcliff, R., Thapar, A., y McKoon, G. (2004). A diffusion model analysis of the effects of aging on recognition memory. *J Mem Lang*, 50(4), 408-424.
- Ratcliff, R., y Tuerlinckx, F. (2002). Estimating parameters of the diffusion model: approaches to dealing with contaminant reaction times and parameter variability. *Psychon Bull Rev*, 9(3), 438-481.
- Raymond, J. E., Shapiro, K. L., y Arnell, K. M. (1992). Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: an attentional blink? *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 18(3), 849-860.
- Rayner, K. (2009). Eye movements and landing positions in reading: a retrospective. *Perception*, 38(6), 895-899.
- Rayner, K., y Bertera, J. H. (1979). Reading without a fovea. *Science*, 206(4417), 468-469.
- Rayner, K., y Castelano, M. S. (2007). Eye Movements. *Scholarpedia*, 2(10).
- Reichle, E. D., Pollatsek, A., Fisher, D. L., y Rayner, K. (1998). Toward a model of eye movement control in reading. *Psychol Rev*, 105(1), 125-157.
- Reichle, E. D., Rayner, K., y Pollatsek, A. (2003). The E-Z reader model of eye-movement control in reading: comparisons to other models. *Behav Brain Sci*, 26(4), 445-476; discussion 477-526.
- Reinagel, P., y Zador, A. M. (1999). Natural scene statistics at the centre of gaze. *Network*, 10(4), 341-350.
- Reuter, F., Del Cul, A., Audoin, B., Malikova, I., Naccache, L., Ranjeva, J. P., et al. (2007). Intact subliminal processing and delayed conscious access in multiple sclerosis. *Neuropsychologia*, 45(12), 2683-2691.
- Reuter, F., Del Cul, A., Malikova, I., Naccache, L., Confort-Gouny, S., Cohen, L., et al. (2009). White matter damage impairs access to consciousness in multiple sclerosis. *Neuroimage*, 44(2), 590-599.
- Roelfsema, P. R. (2005). Elemental operations in vision. *Trends Cogn Sci*, 9(5), 226-233.
- Roelfsema, P. R., Khayat, P. S., y Spekreijse, H. (2003). Subtask sequencing in the primary visual cortex. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 100(9), 5467-5472.
- Roelfsema, P. R., Lamme, V. A., y Spekreijse, H. (2000). The implementation of visual routines. *Vision Res*, 40(10-12), 1385-1411.
- Roelfsema, P. R., Tolboom, M., y Khayat, P. S. (2007). Different processing phases for features, figures, and selective attention in the primary visual cortex. *Neuron*, 56(5), 785-792.
- Rolfs, M., Kliegl, R., y Engbert, R. (2008). Toward a model of microsaccade generation: The case of microsaccadic inhibition. *Journal of Vision*, 8(11).
- Rolfs, M., Laubrock, J., y Kliegl, R. (2006). Shortening and prolongation of saccade

- latencies following microsaccades. *Exp Brain Res*, 169(3), 369-376.
- Rolls, E. T., y Deco, G. (2002). *Computational neuroscience of vision*. Oxford ; New York: Oxford University Press.
- Rorden, C., y Karnath, H. O. (2004). Using human brain lesions to infer function: a relic from a past era in the fMRI age? *Nat Rev Neurosci*, 5(10), 813-819.
- Ross, J., Morrone, M. C., y Burr, D. C. (1997). Compression of visual space before saccades. *Nature*, 386(6625), 598-601.
- Ross, J., Morrone, M. C., Goldberg, M. E., y Burr, D. C. (2001). Changes in visual perception at the time of saccades. *Trends Neurosci*, 24(2), 113-121.
- Rousselet, G. A., Fabre-Thorpe, M., y Thorpe, S. J. (2002). Parallel processing in high-level categorization of natural images. *Nat Neurosci*, 5(7), 629-630.
- Rudrauf, D., David, O., Lachaux, J. P., Kovach, C. K., Martinerie, J., Renault, B., et al. (2008). Rapid interactions between the ventral visual stream and emotion-related structures rely on a two-pathway architecture. *J Neurosci*, 28(11), 2793-2803.
- Ruthruff, E., Hazeltine, E., y Remington, R. W. (2006). What causes residual dual-task interference after practice? *Psychol Res*, 70(6), 494-503.
- Ruthruff, E., Johnston, J. C., y Van Selst, M. (2001). Why practice reduces dual-task interference. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 27(1), 3-21.
- Ruthruff, E., Johnston, J. C., Van Selst, M., Whitsell, S., y Remington, R. (2003). Vanishing dual-task interference after practice: has the bottleneck been eliminated or is it merely latent? *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 29(2), 280-289.
- Ruthruff, E., Pashler, H. E., y Klaassen, A. (2001). Processing bottlenecks in dual-task performance: structural limitation or strategic postponement? *Psychon Bull Rev*, 8(1), 73-80.
- Ruthruff, E., Van Selst, M., Johnston, J. C., y Remington, R. (2006). How does practice reduce dual-task interference: integration, automatization, or just stage-shortening? *Psychol Res*, 70(2), 125-142.
- Sackur, J., y Dehaene, S. (2009). The cognitive architecture for chaining of two mental operations. *Cognition*, 111(2), 187-211.
- Schall, J. D. (2001). Neural basis of deciding, choosing and acting. *Nat Rev Neurosci*, 2(1), 33-42.
- Schall, J. D. (2004). On building a bridge between brain and behavior. *Annu Rev Psychol*, 55, 23-50.
- Schall, J. D., y Thompson, K. G. (1999). Neural selection and control of visually guided eye movements. *Annu Rev Neurosci*, 22, 241-259.
- Schneider, W., y Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and Automatic Human Information Processing: I. Detection, Search and Attention. *Psychol.Rev*, 84, 1-66.
- Schumacher, E. H., Seymour, T. L., Glass, J. M., Kieras, D. E., y Meyer, D. E. (2001). Virtually Perfect time sharing in dual-task performance: Uncorking the central attentional bottleneck. *Psychological Science*, 12, 101-108.
- Schwarz, W. (2001). The ex-Wald distribution as a descriptive model of response times. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, 33(4), 457-469.
- Schweickert, R. (1980). Critical-path scheduling of mental processes in a dual task. *Science*, 209(4457), 704-706.
- Schweickert, R., y Townsend, J. T. (1989). trichotomy: Interactions of factors prolonging sequential and concurrent mental processes in stochastic discrete mental (PERT) networks. *Journal of Mathematical Psychology*, 33, 328-347.
- Sepulcre, J., Vanotti, S., Hernandez, R., Sandoval, G., Caceres, F., Garcea, O., et al. (2006). Cognitive impairment in patients with multiple sclerosis using the Brief Repeatable Battery-Neuropsychology test. *Mult Scler*, 12(2), 187-195.
- Sereno, S. C., Brewer, C. C., y O'Donnell, P. J. (2003). Context effects in word recognition: evidence for early interactive processing. *Psychol Sci*, 14(4), 328-333.
- Sereno, S. C., y Rayner, K. (2003). Measuring word recognition in reading: eye movements and event-related potentials. *Trends Cogn Sci*, 7(11), 489-493.
- Sereno, S. C., Rayner, K., y Posner, M. I. (1998). Establishing a time-line of word recognition: evidence from eye movements

- and event-related potentials. *Neuroreport*, 9(10), 2195-2200.
- Sergent, C., Baillet, S., y Dehaene, S. (2005). Timing of the brain events underlying access to consciousness during the attentional blink. *Nat Neurosci*, 8(10), 1391-1400.
- Sergent, C., y Dehaene, S. (2004). Is consciousness a gradual phenomenon? Evidence for an all-or-none bifurcation during the attentional blink. *Psychol Sci*, 15(11), 720-728.
- Sessa, P., Luria, R., Verleger, R., y Dell'Acqua, R. (2007). P3 latency shifts in the attentional blink: further evidence for second target processing postponement. *Brain Res*, 1137(1), 131-139.
- Shadlen, M. N., y Newsome, W. T. (1996). Motion perception: seeing and deciding. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 93(2), 628-633.
- Shallice, T. (1988). *From neuropsychology to mental structure*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sheinberg, D. L., y Logothetis, N. K. (2001). Noticing familiar objects in real world scenes: the role of temporal cortical neurons in natural vision. *J Neurosci*, 21(4), 1340-1350.
- Shiffrin, R. M., y Schneider, W. (1977). Controlled and Automatic Human Information Processing: II. Perceptual Learning, Automatic Attending and a General Theory. *Psychol. Rev*, 84, 127-191.
- Siegler, R. S., y Opfer, J. E. (2003). The development of numerical estimation: evidence for multiple representations of numerical quantity. *Psychol Sci*, 14(3), 237-243.
- Sigman, M., Cecchi, G. A., Gilbert, C. D., y Magnasco, M. O. (2001). On a common circle: natural scenes and Gestalt rules. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 98(4), 1935-1940.
- Sigman, M., y Dehaene, S. (2005). Parsing a cognitive task: a characterization of the mind's bottleneck. *PLoS Biol*, 3(2), e37.
- Sigman, M., y Dehaene, S. (2006). Dynamics of the central bottleneck: dual-task and task uncertainty. *PLoS Biol*, 4(7), e220.
- Sigman, M., y Dehaene, S. (2008). Brain mechanisms of serial and parallel processing during dual-task performance. *J Neurosci*, 28(30), 7585-7598.
- Sigman, M., y Gilbert, C. D. (2000). Learning to find a shape. *Nat Neurosci*, 3(3), 264-269.
- Sigman, M., Pan, H., Yang, Y., Stern, E., Silbersweig, D., y Gilbert, C. D. (2005). Top-down reorganization of activity in the visual pathway after learning a shape identification task. *Neuron*, 46(5), 823-835.
- Simmons, D. J. (2007). Inattentive blindness. *Scholarpedia*, 2(5).
- Smith, A. (1982). *Symbol digit modalities test: Manual*. Los Angeles: Western Psychological Services.
- Smith, M. C. (1967). Theories of the psychological refractory period. *Psych. Bull*, 67, 202-213.
- Sommer, M. A., y Wurtz, R. H. (2008a). Brain circuits for the internal monitoring of movements. *Annu Rev Neurosci*, 31, 317-338.
- Sommer, M. A., y Wurtz, R. H. (2008b). Visual perception and corollary discharge. *Perception*, 37(3), 408-418.
- Staffen, W., Mair, A., Zauner, H., Unterrainer, J., Niederhofer, H., Kutzelnigg, A., et al. (2002). Cognitive function and fMRI in patients with multiple sclerosis: evidence for compensatory cortical activation during an attention task. *Brain*, 125(Pt 6), 1275-1282.
- Sternberg, S. (1969). The discovery of processing stages: Extension of Donders' method. In W. G. Koster (Ed.), *Attention and performance II* (pp. 276-315). Amsterdam.
- Tallon-Baudry, C., Bertrand, O., Delpuech, C., y Pernier, J. (1996). Stimulus specificity of phase-locked and non-phase-locked 40 Hz visual responses in human. *J Neurosci*, 16(13), 4240-4249.
- Tallon-Baudry, C., Bertrand, O., Henaff, M. A., Isnard, J., y Fischer, C. (2005). Attention modulates gamma-band oscillations differently in the human lateral occipital cortex and fusiform gyrus. *Cereb Cortex*, 15(5), 654-662.
- Tallon-Baudry, C., Kreiter, A., y Bertrand, O. (1999). Sustained and transient oscillatory responses in the gamma and beta bands in a visual short-term memory task in humans. *Vis Neurosci*, 16(3), 449-459.
- Telford, C. W. (1931). The refractory phase of voluntary and associative responses. *J Exp Psychol*, 14, 1-36.

- Temel, Y., Visser-Vandewalle, V., y Carpenter, R. H. (2008). Saccadic latency during electrical stimulation of the human subthalamic nucleus. *Curr Biol*, 18(10), R412-414.
- Temel, Y., Visser-Vandewalle, V., y Carpenter, R. H. (2009). Saccadometry: a novel clinical tool for quantification of the motor effects of subthalamic nucleus stimulation in Parkinson's disease. *Exp Neurol*, 216(2), 481-489.
- Thickbroom, G. W., Knezevic, W., Carroll, W. M., y Mastaglia, F. L. (1991). Saccade onset and offset lambda waves: relation to pattern movement visually evoked potentials. *Brain Res*, 551(1-2), 150-156.
- Thickbroom, G. W., y Mastaglia, F. L. (1985). Presaccadic 'spike' potential: investigation of topography and source. *Brain Res*, 339(2), 271-280.
- Thickbroom, G. W., y Mastaglia, F. L. (1986). Presaccadic spike potential. Relation to eye movement direction. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 64(3), 211-214.
- Thickbroom, G. W., y Mastaglia, F. L. (1990). Premotor negativity associated with saccadic eye movement and finger movement: a comparative study. *Brain Res*, 506(2), 223-226.
- Thiele, A., Henning, P., Kubischik, M., y Hoffmann, K. P. (2002). Neural mechanisms of saccadic suppression. *Science*, 295(5564), 2460-2462.
- Thorpe, S., Fize, D., y Marlot, C. (1996). Speed of processing in the human visual system. *Nature*, 381(6582), 520-522.
- Thorpe, S. J., y Fabre-Thorpe, M. (2001). Neuroscience. Seeking categories in the brain. *Science*, 291(5502), 260-263.
- Toet, A., y Levi, D. M. (1992). The two-dimensional shape of spatial interaction zones in the parafovea. *Vision Res*, 32(7), 1349-1357.
- Trapp, B. D., y Nave, K. A. (2008). Multiple sclerosis: an immune or neurodegenerative disorder? *Annu Rev Neurosci*, 31, 247-269.
- Tripathy, S. P., y Cavanagh, P. (2002). The extent of crowding in peripheral vision does not scale with target size. *Vision Res*, 42(20), 2357-2369.
- Troncoso, X. G., Macknik, S. L., y Martinez-Conde, S. (2008). Microsaccades counteract perceptual filling-in. *J Vis*, 8(14), 15 11-19.
- Trukenbrod, H. A., y Engbert, R. (2007). Oculomotor control in a sequential search task. *Vision Res*, 47(18), 2426-2443.
- Ullman, S. (1984). Visual routines. *Cognition*, 18(1-3), 97-159.
- Usher, M., y McClelland, J. L. (2001). The time course of perceptual choice: the leaky, competing accumulator model. *Psychol Rev*, 108(3), 550-592.
- Van Oeffelen, M., y Vos, P. G. (1982). A probabilistic model for the discrimination of visual number. *Perception and Psychophysics*, 32(2), 163-170.
- Van Oeffelen, M. G., y Vos, P. G. (1982). A probabilistic model for the discrimination of visual number. *Perception and Psychophysics*, 32, 163-170.
- Van Selst, M., Ruthruff, E., y Johnston, J. C. (1999). Can practice eliminate the psychological refractory period effect? *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 25(5), 1268-1283.
- Vandekerckhove, J., y Tuerlinckx, F. (2007). Fitting the Ratcliff diffusion model to experimental data. *Psychon Bull Rev*, 14(6), 1011-1026.
- Vandekerckhove, J., y Tuerlinckx, F. (2008). Diffusion model analysis with MATLAB: a DMAT primer. *Behav Res Methods*, 40(1), 61-72.
- Vanotti, S., Benedict, R. H., Acion, L., y Caceres, F. (2009). Validation of the Multiple Sclerosis Neuropsychological Screening Questionnaire in Argentina. *Mult Scler*, 15(2), 244-250.
- VanRullen, R., y Koch, C. (2003). Is perception discrete or continuous? *Trends Cogn Sci*, 7(5), 207-213.
- VanRullen, R., y Thorpe, S. J. (2001). The time course of visual processing: from early perception to decision-making. *J Cogn Neurosci*, 13(4), 454-461.
- Varela, F., Lachaux, J. P., Rodriguez, E., y Martinerie, J. (2001). The brainweb: phase synchronization and large-scale integration. *Nat Rev Neurosci*, 2(4), 229-239.
- Verguts, T., y Fias, W. (2004). Representation of number in animals and humans: a neural model. *J Cogn Neurosci*, 16(9), 1493-1504.

- Vickers, D. (1970). Evidence for an accumulator model of psychophysical discrimination. *Ergonomics*, 13(1), 37-58.
- Volkman, F. C. (1986). Human visual suppression. *Vision Res*, 26(9), 1401-1416.
- von Neumann, J. (1958). *The Computer and the Brain*. New Haven/London: Yale University Press.
- Wagenmakers, E. J., y Brown, S. (2007). On the linear relation between the mean and the standard deviation of a response time distribution. *Psychol Rev*, 114(3), 830-841.
- Wagenmakers, E. J., Ratcliff, R., Gomez, P., y McKoon, G. (2008). A Diffusion Model Account of Criterion Shifts in the Lexical Decision Task. *J Mem Lang*, 58(1), 140-159.
- Wagenmakers, E. J., van der Maas, H. L., Dolan, C. V., y Grasman, R. P. (2008). EZ does it! Extensions of the EZ-diffusion model. *Psychon Bull Rev*, 15(6), 1229-1235.
- Wagenmakers, E. J., van der Maas, H. L., y Grasman, R. P. (2007). An EZ-diffusion model for response time and accuracy. *Psychon Bull Rev*, 14(1), 3-22.
- Womelsdorf, T., Fries, P., Mitra, P. P., y Desimone, R. (2006). Gamma-band synchronization in visual cortex predicts speed of change detection. *Nature*, 439(7077), 733-736.
- Wong, K. F., y Wang, X. J. (2006). A recurrent network mechanism of time integration in perceptual decisions. *J Neurosci*, 26(4), 1314-1328.
- Yang, T., y Shadlen, M. N. (2007). Probabilistic reasoning by neurons. *Nature*, 447(7148), 1075-1080.
- Yarbus, A. L. (1967). *Eye Movements and Vision*. New York: Plenum Press.
- Yuval-Greenberg, S., y Deouell, L. Y. (2007). What you see is not (always) what you hear: induced gamma band responses reflect cross-modal interactions in familiar object recognition. *J Neurosci*, 27(5), 1090-1096.
- Yuval-Greenberg, S., Keren, A. S., Tomer, O., Nelken, I., y deouell, L. Y. (2009). Response to Letter: Melloni et al., "Transient Induced Gamma-Band Response in EEG as a Manifestation of Miniature Saccades.". *Neuron*, 58, 429-441.
- Yuval-Greenberg, S., Tomer, O., Keren, A. S., Nelken, I., y Deouell, L. Y. (2008). Transient induced gamma-band response in EEG as a manifestation of miniature saccades. *Neuron*, 58(3), 429-441.
- Zylberberg, A., Dehaene, S., Mindlin, G. B., y Sigman, M. (2009). Neurophysiological bases of exponential sensory decay and top-down memory retrieval: a model. *Front Comput Neurosci*, 3, 4.
- Zylberberg, A., Fernandez Slezak, D., Roelfsema, P. R., Dehaene, S., y Sigman, M. (2010). The brain's router: a cortical network model of serial processing in the primate brain. *PLoS Comput Biol*, 6(4), e1000765.

7. Contribuciones y estado de los resultados

A lo largo de la tesis tuve la suerte de compartir el camino con distintas personas que contribuyeron a la presente tesis.

Los experimentos de la sección 4.6 son parte de un proyecto en conjunto con Matías Ison y Rodrigo Quian Quiroga (Neuroengineering Lab, University of Leicester, Inglaterra), Matías contribuyo en las etapas de diseño del experimento y escritura de los resultados, pero fundamente nos iniciamos juntos en diversos métodos de análisis EEG y Seguimiento Ocular... algunos de los cuales llegaron a buen puerto y otros no. Los experimentos de la sección 4.5 fueron parte también de la tesis de licenciatura de Joaquín Navajas (Diciembre 2009, LNI), ambos desarrollamos los experimentos e implementamos el análisis, y Joaquín estuvo a cargo de la adquisición de los datos. Los experimentos de la sección 4.4 fueron llevados a cabo en partes iguales con Ariel Zylberberg (LNI), tanto en el diseño, el análisis, la adquisición de datos y la escritura. Andrés Farall (Centro de Investigaciones de la Representación en Buenos Aires de la Università di Bologna) colaboró con el análisis de regresión logística en la sección 4.4. Milena Winograd (LNI) contribuyo en la adquisición de datos de los primeros pacientes en la sección 4.3. Los médicos responsables de los pacientes en la sección 4.3 fueron Fernando Caceres, Sandra Vanotti y María Laura Saladito (Instituto de Neurociencias de Buenos Aires, INEBA), Sandra Vanotti tomó la batería de neuropsicología. En la sección 4.2, Harold Pashler (UCSD, Psychology, La Jolla, California, Estados Unidos) y Stanislas Dehaene (Inserm, Cognitive Neuroimaging Unit, Francia) contribuyeron al diseño del experimento, y los datos fueron recolectados en el laboratorio de Harold Pashler.

A su vez, con otros tantos compartí proyectos que no son parte de esta tesis. Con Joaquín Navajas y Belén Lafón (LNI) pusimos a punto el equipo de EEG y realizamos los primeros registros. Marcela Peña (Pontífica Universidad Católica de Chile) tomo los primeros registros de EEG que analicé, a partir de una tarea diseñada en conjunto. Con Lisandro Kaunitz (y David Melcher, Center for Mind/Brain Sciences (CIMeC), University of Trento, Italia) llevamos adelante un experimento de EEG y reconocimiento de imágenes naturales, en el cual adquirí los datos y contribuí al análisis, que será parte de la tesis doctoral de Lisandro Kaunitz. Con Luz Bavassi (LNI, Universidad de Quilmes) y Rodrigo Laje (Universidad de Quilmes) llevamos adelante un proyecto, que es parte de la tesis doctoral de Luz Bavassi, de EEG y sincronización en el cual colaboró en lo referente al EEG.

Que en paz descansen todos aquellos experimentos cuyos resultados no llegaron a la luz (y gracias a los sujetos que se prestaron a ellos), PRP para 4 u 8 estímulos, Comparación de operaciones analógicas, Predicción de secuencias, Concatenación de tareas y EEG, EEG y Movimientos Oculares contando letras, EEG y Movimientos Oculares buscando Wally, Categorización de estímulos analógicos.

Los resultados de las secciones 4.1 y 4.2 se encuentran publicados en PLoS ONE (2008) y Cognition (2011) respectivamente. Los resultados de la sección 4.4 fueron revisados y serán reenviados con modificaciones en los próximos meses. Los resultados de la sección 4.6 serán enviados en el próximo mes. Los resultados de las secciones 4.3 y 4.5 se encuentran en la etapa final de la escritura para su publicación, así como también los resultados obtenidos junto con Lisandro Kaunitz que finalmente no fueron incluidos en esta tesis.

8. Agradecimientos

A Mariano, por confiar en mi desde el minuto cero (o ~-500000 en realidad), por abrir (y abrimme) espacios, por impulsar y potenciar una cantidad inmensa de ideas y cambios en ciencia, docencia y extensión, y darme la posibilidad de ser parte de ellos. Y por absoluta libertad para desarrollar proyectos dentro del laboratorio.

A la gente del LNI & Friends por generar este espacio de constante movimiento. Por orden más o menos cronológico Guido, Marting, Ariel, Diego Sh, Polo, Martinec, Maria, Vero, Mile, Pablo B, Joaco, Belu, Bruno D, Bruno W, Pablo E, Elisa, Flor, Agus, Andrea, Diego FS, Luz, Yamil, Hugo, Andrés, Agustin I, Luciano, Jenny, Mariano B, y espero no olvidarme de nadie ...

Especialmente a los que compartí proyectos conclusos o inconclusos, con los que fuimos aprendiendo desde cero juntos y armando el camino, Ariel, Guido, Mile, Agus, Pablo B, Diego FS, Luz, Joaco. Y con los que compartí ese mismo camino de fuera del LNI, Matias, Lisandro, Rodri.

Al nicho hispanoamericano en tierras indobritánicas, especialmente a Matias, Ceci, Juan, Hernan, Vero, el resto de Neuroengineering lab, y a Rodrigo por abrimme las puertas de su laboratorio.

A todos con los que compartí proyectos, las neurocenas, el sotano, el taller, las físicas de biólogos (Diego L, Guille S, Rodri, Marcos, Martinec, Pablo E), el curso del taller 2010 (Marcos y Manuel), el boletín SAN (Dani y Martin C), y tantos otros...

A todos los que acompañaron este trabajo, cafecito y chat de por medio, Fede A, Kiu, Leo, Diego L, Javi T, Alf, Diana, Fede R, Guille S, Tris, Bellu, CCCP, ...

A los cientos de voluntarios (si... ~250 con 2hs de experimento promedio) que por gusto, masoquismo, curiosidad, el pancho y la coca, y un poco de insistencia, realizaron los experimentos presentados en esta tesis y todos los que llevaron a estos experimentos, no fueron, o fueron en paralelo.

A todos los que hacen de la ciencia argentina y de la neurociencia en particular (la FCEyN, el Taller, la SAN,...) un ambiente en constante expansión y movimiento, al que uno se siente orgulloso de pertenecer y aportar.

A la flia política (Claudia, Sergio y Fepo) por el aguante inmenso con las chicas, y el amor que les tienen.

A la flia (Mama, Papa, Lu, Nico y Abu) por estar siempre al alcance de la mano, con una mano.

A Poli y Juli, por enseñarme a ser padre y niño a la vez, porque a fin de cuentas nadie puso más de sí mismo, de su tiempo en tiempos que el tiempo mide el doble y no se recupera, que ellas...

A Ve, por ser mi compañera en las buenas y las malas. Por la paciencia infinita (sobre todo en estos últimos meses). Por todas las listas, notas en calendarios, y libretitas de proyectos armados, desarmados y postergados, y por seguir a cumpliéndolos...