



Universidad Nacional Autónoma de México
Maestría en Ciencias (Neurobiología)
Instituto de Neurobiología
Departamento de Neurobiología Conductual y Cognitiva

Estudio de los correlatos neurales de la percepción
emocional por análisis de patrones en multitud de
voxels

Que para optar por el grado de:
Maestro en Ciencias
Isaac David Reyes González

Tutor principal:
Dr. Fernando Alejandro Barrios Álvarez
Instituto de Neurobiología

Comité tutor:
Dr. Eduardo Adrián Garza Villarreal
Instituto Nacional de Psiquiatría
Dr. Luis Concha Loyola
Instituto de Neurobiología

México, noviembre 2018

Índice general

1. Introducción	1
2. Antecedentes	4
2.1. Bases neurales de la emoción y la atención	4
2.2. A favor y en contra de la percepción emocional automática .	6
3. Justificación	8
3.1. Panorama general	8
3.2. Particular	9
4. Hipótesis	13
4.1. Pregunta de investigación	13
4.2. Hipótesis	13
4.3. Predicciones	13
5. Objetivos	15
6. Muestra, Materiales y Métodos	16
6.1. Muestra	16
6.2. Materiales y métodos	17
Apéndice 1: código fuente	19
Referencias	21

Capítulo 1

Introducción

Las emociones son estados conscientes¹ caracterizados por su discreitud, excitación media a alta, carga hedonística² y una referencia a un estado somático³ de gran relevancia para el organismo (Schacter et al. 2011; Ekman, Davidson 1994). Emociones básicas como la alegría, el miedo, el enfado y la tristeza probablemente se encuentran entre las experiencias subjetivas más básicas; y su manifestación en la conducta es trazable a reacciones cuando menos análogas en todos los organismos vivos.⁴

Es debido a esa naturaleza tan basal, así como el papel del sistema nervioso sustentándolas, que las emociones no sólo interfieren con y modulan la cognición de órdenes superiores; sino que además proveen los cimientos de la motivación, y por ende de la planificación y la conducta (Schwarz 1990). Las emociones están conectadas causalmente a varias respuestas del sistema nervioso periférico (tanto somáticas como autonómicas) y actividad endócrina. Ya no es posible entender la formación de memorias a largo plazo o

¹Por consciencia me referiré específicamente al significado rudimentario de consciencia fenoménica: la cualidad de los objetos que sienten; en la línea de autores como Christof Koch, David Chalmers, Giulio Tononi and Ned Block.

²A diferencia de, por ejemplo, la experiencia libre de placer o desagrado de un color vívido, o información propioceptiva.

³A diferencia de, dígame, el exquisito olor de las flores. Damasio (1996) utiliza el término “somático” en lugar de “corporal” para comunicar la suficiencia de *representaciones* mentales del cuerpo.

⁴Algunos autores usan la palabra “emoción” para la respuesta conductual y reservan “sentimiento” para su contraparte subjetiva.

aprendizaje asociativo sin la participación de distintos mecanismos selectivos a la emoción (LeDoux 1994).

Las predisposiciones en la dinámica emocional del individuo son un rasgo de la personalidad comúnmente ignorado. Podría parecer extraño hablar acerca de estados psicofisiológicos de ocurrencia natural y frecuente en relación a la salud; sin embargo su matrimonio no puede ser pasado por alto. En primer lugar, las emociones mismas pueden ser sintomáticas de la enfermedad (como es el caso del asco). Más directamente, hay poca duda en que afecciones como la depresión extendida y las fobias deberían ser consideradas patologías en su propio derecho.

Más allá del individuo, existe especial significancia sobre lo que las emociones logran para el bienestar social. Las expresiones resultantes comportadas por rostros y lenguaje corporal son la epítome de la comunicación primate. Nuestros ancestros tuvieron que leer estas expresiones e interpretarlas, como parte de un repertorio de señalización más amplio, mucho antes de la aparición del lenguaje propiamente dicho. En etología se dice que una señal es efectiva (lo que implica una reacción en el organismo receptor) si posee la propiedad de ser evolutivamente ventajosa para ambas partes, en promedio. La prevaricación lingüística resta al valor que receptores y emisores honestos obtienen de dichas señales, haciendo a las emociones señales muy efectivas (en la medida en que son difíciles de fingir). Así mismo, su percepción⁵ adecuada marca un *input* importante para los mecanismos de la teoría de la mente;⁶ ya que las emociones son muestra flagrante de los estados mentales más viscerales.

La literatura psicológica está comprometida a discutir el origen biológico y relevancia de las emociones. Un tema importante es lo que llamaré la hipótesis del procesamiento emocional automático: si la expresión facial es una señal tan importante de estados internos para especies sociales como la nuestra, es razonable preguntarse si una adaptación cognitiva pudo haber evolucionado

⁵Percepción es el conjunto de procesos de interfaz mediante los cuales un sistema cognitivo adquiere información *externa al sistema*, y la vuelve útil para tareas de control ejecutivo.

⁶Teoría de la mente: atribuir estados mentales a otros. La creencia de que existen otras mentes; en oposición al solipsismo. No debe confundirse con las teorías de lo que la mente es.

para decodificarla empero la ausencia de atención visuoespacial,⁷ y quizás de forma no consciente. Muy de la mano viene la hipótesis del sesgo por valencias negativas. A saber, que la susodicha facultad de atajo podría favorecer el procesamiento de ciertas emociones desagradables, debido a que a ocurren más a menudo junto con situaciones de vida o muerte.

⁷La atención se refiere burdamente a las facultades psicológicas de filtrar la información disponible. Asignación de recursos cognitivos limitados.

Capítulo 2

Antecedentes

2.1. Bases neurales de la emoción y la atención

Nuestro entendimiento contemporáneo del procesamiento emocional abarca varias regiones corticales y subcorticales; algunas de ellas más bien primitivas y bien conservadas. A grandes rasgos, los impulsos tempranos que entran al tálamo son copiados a corteza sensorial pero también a la amígdala. Ésta última contiene núcleos especializados para evaluación de carga emocional tanto innata como aprendida. Una larga historia de investigación en condicionamiento ha mostrado que la amígdala debe estar presente para aprender asociaciones implícitas (es decir, procedimentales) entre estímulos emocionales e incondicionados. El núcleo central de la amígdala proyecta a lugares como la región gris central del tallo cerebral e hipotálamo, que a su vez puede desencadenar reacciones automáticas y actividad humoral. También hay áreas corticales implicadas en la percepción de emociones complejas: la corteza cingulada ventral anterior, la ínsula y la corteza prefrontal ventromedial. Como ejemplo de las consecuencias que estas estructuras tienen en percepción emocional, daño a la corteza prefrontal resulta en discapacidades sociopáticas (LeDoux, Damasio 2013).

Descubrimientos en pacientes con daño cerebral, estudios de imagenología y de estimulación han establecido la segregación de dos sistemas distintos de atención visual en humanos; que abarcan, respectivamente, sitios dorsales

y ventrales en lóbulos frontales y parietales (Vossel et al. 2014; Umarova et al. 2009).¹ La primera es responsable por una forma de atención dirigida por objetivos (*top-down*), mientras que la segunda reacciona a estímulos inesperados (*bottom-up*). Además se ha sugerido que sirven como mecanismos atencionales genéricos independientemente de la modalidad sensorial (Macaluso 2010), e incluso estando carente información de carácter conceptual o integrativo (por ejemplo, durante una tarea de selección basada en características) (Vandenberghe, Gillebert 2009).

La indagación en la conectividad funcional, causal y estructural de las redes dorsal y ventral ha comenzado a echar luz sobre sus componentes, y — en menor grado — sus especializaciones. La red dorsal comprende cuando menos los campos oculares frontales (FEF en inglés) y surco intraparietal (IPS); ambos de los cuales se piensa muestran tractos de asociación con las áreas perceptuales del lóbulo occipital, de organización contralateral retinotópica; así como fibras de comisura para conectar hemirredes homólogas. Es posible que la red dorsal esté computando mapas de prominencia planificada, como es sugerido por la presencia de incluso más campos receptivos retinotópicamente organizados en FEF e IPS. Estos mapas de “saliencia” serían consumidos por FEF para solicitar toda clase de movimientos oculares (Jerde et al. 2012).

El funcionamiento interno de la red ventral frontoparietal está menos dilucidado, pero se ha asociado fiablemente al filtro de eventos exógenos (o sea, irrelevantes a la tarea); presumiblemente permitiendo que estímulos inesperados y potencialmente peligrosos se sobrepongan a la concentración del sujeto y pasen al foco de atención. La activación ocurre en las zonas denominadas unión temporoparietal (TPJ) y la corteza ventral frontal (VFC). Existen problemas determinando si la red ventral está lateralizada hacia el hemisferio derecho, y no hay algún estandar citoarquitectónico (o de otro tipo) que delimite estas áreas (Vossel et al. 2014).

TPJ ha sido postulada como un punto de interacción entre sistemas (Corbetta et al. 2008; Fox et al. 2006). La actividad intrínseca del giro frontal medio

¹No deben confundirse con las también dorsal y ventral vías del “dónde” y del “qué” en percepción visual. Aunque podría existir traslape con las redes de atención en la unión temporoparietal y el surco intraparietal.

(MFG) posterior derecho está correlacionada con ambas redes; convirtiéndola en otro *hub* candidato. De los tres principales fascículos longitudinales superiores (SFL I, II y III) que proveen conexiones anatómicas asociativas para estas redes, se sabe que el de en medio (SFL II) conecta a FEF y TPJ (De Schotten et al. 2011).

2.2. A favor y en contra de la percepción emocional automática

El paradigma de *priming* afectivo (Klauer et al. 2003) tiene efectos mejorando tiempos de reacción y exactitud en la identificación de emociones idénticas consecutivas, lo cual refleja cierta versatilidad en el proceso que desemboca en el reconocimiento afectivo (De Houwer et al. 2009). Varias líneas de evidencia ayudan a extrapolar este hecho hacia la noción de que la percepción afectiva puede someterse a un modo automático/preatencional:

- Debido a que el *priming* afectivo sólo ocurre bajo tiempos cortos de asincronía de puesta de estímulo (SOA^2 en inglés) (300 ms o menos), se conjetura que el procesamiento del estímulo primal debe ocurrir antes de que dé lugar el despliegue de atención y estrategias de respuesta (Moors, De Houwer 2006; Hermans et al. 2001).
- El efecto se observa incluso cuando el primal se presenta en niveles subumbrales, irreconocibles (Draine, Greenwald 1998) y fuera del foco de atención visual (Calvo, Nummenmaa 2007).
- Según algunos reportes, la carga cognitiva (producida por la presentación simultánea de tareas irrelevantes) no impacta en el *priming* (Hermans et al. 2000). No obstante esto está en pugna.

Un refinamiento posterior propone que no todas las emociones fueron hechas igualmente ventajosas de reconocer. Si la selección natural produjo circuitaría neuronal complementaria de alta prioridad para el procesamiento de

²El lapso de tiempo entre estímulo primal y la presentación del segundo.

expresiones faciales (o un precursor epigenético), uno puede naturalmente preguntar si este automatismo también seleccionó algunas emociones más que otras; con base en su ventaja de supervivencia. En efecto, un cúmulo de investigaciones han encontrado que el efecto de *priming*, así como otros, están sesgados hacia emociones aversivas o peyorativas en contraposición a las satisfactorias o neutras (Fox et al. 2002; Vuilleumier et al. 2001; Ishai et al. 2004; Vuilleumier 2005; Susa et al. 2012).

En oposición a la visión anterior, Pessoa et al. (2002) interpretaron el incremento en actividad en estructuras corticales y basales ligadas al reconocimiento facial y emocional (giro fusiforme, amígdala, etc.) durante atención explícita a rostros (en contraste con detalles no expresivos inscritos en las caras) como evidencia de que el procesamiento facial es contingente a la atención. Esta veta de estudios en procesamiento de emociones faciales posee simpatizantes recientes (véase Ochsner, Gross 2005; Eimer et al. 2003 por ejemplo). De los estudios con EEG³ que tratan de correlacionar supuestos índices por PREs⁴ de atención visual con diversos modos de percepción emocional se han obtenido resultados dispares (ver revisión y resultados negativos de Galfano et al. (2011) concernientes a la hipótesis de sesgo dependiente a la emoción, según se infiere de los segundos componentes negativos de señales de electrodos posteriores contralaterales durante una tarea de pista por mirada (*gaze cuing*)).

Resultados contradictorios producto de experimentos metodológicamente sólidos demandan una reformulación teórica capaz de cobijar todos los hechos. Las investigaciones en torno al conflicto suelen invocar alguna forma de interacción o modulación entre sistemas para poder explicar los datos (Oksinger et al. 2007; Palermo, Rhodes 2007). Basados en tiempos de reacción y variabilidad en la dificultad de la tarea, Sassi y colegas propusieron que a pesar de que la percepción emocional puede volverse automática, los recursos sobrantes podrían seguir siendo usados en paralelo para el mismo propósito si los distractores no fueran suficientes (Sassi et al. 2014).

³Electroencefalografía.

⁴Potencial relacionado con eventos. A veces usado intercambiabilmente con “potencial evocado”.

Capítulo 3

Justificación

3.1. Panorama general

Hay varios sentidos en los que las emociones simples podrían ser consideradas como algunas de las experiencias conscientes completas más básicas: son universales culturales, bien diferenciadas y están inextricablemente conectadas a estados somáticos y la homeostasis (Damasio 1998). Ayudar a entender su detección y procesamiento en tercera persona contribuye a nuestra comprensión de la intersubjetividad.

Al día de hoy clínicos e incluso neurocientíficos cognitivos siguen siendo bastante dependientes de reportes verbales y otras pistas conductuales para evaluar estados mentales. Sin embargo, el prospecto de hacer que los sujetos reporten modos perceptuales muy rápidos y automáticos — incluso no conscientes — podría ser no solamente dificultoso sino lógicamente imposible. La psicología experimental ha ingeniado experimentos conductuales muy astutos para detectar dichos cambios, de manera que pruebas neurales análogas deberían idearse y descubrirse. Más generalmente, se requiere trabajo teórico y empírico extra para ayudar a tender un puente explicativo entre los hechos mecanísticos (o sea físicos) y los de la subjetividad (mentales).

Pese al éxito inicial identificando y describiendo los sustratos moleculares y celulares de muchos fenómenos psiquiátricos y psicológicos; los métodos de

la neurociencia a escalas pequeñas y medianas, así como el llano *localizacionismo*, fracasan frente a cantidad de preguntas de interés. Muchos fenómenos cognitivos más bien emergen (o así se piensa) de la función coordinada de componentes anatómicamente distribuidos. Las restricciones evolutivas imponen límites en el número de especializaciones nerviosas que podrían corresponder unívocamente con el desempeño de una función, de manera que ciertos fenómenos conductuales y mentales deben corresponder al reclutamiento diferencial y modulación temporal de recursos más primitivos en el dominio fisiológico. Más aún, las nuevas corrientes en estudios de la cognición hacen hincapié en considerar holísticamente las interacciones entre organismos y con el medio.

Para abordar este tipo de preguntas, la resonancia magnética nuclear funcional es capaz de registrar señales correlato de los potenciales locales de campo, a la vez que provee un moderado balance de resolución espacial y temporal para diferenciar casi simultáneamente la actividad metabólica de zonas distantes. Es una técnica idónea para estudios en los que redes funcionales asociadas a tareas primero deben ser identificadas o refinadas, allanando el terreno para técnicas de medición más finas que intenten establecer la circuitería y química sináptica.

3.2. Particular

El actual debate alrededor de los mecanismos cognitivos de la percepción de expresiones faciales se beneficiará de evidencia adicional en materia de disociación anato-funcional; y lo que es más importante: el uso de métodos de análisis más sensibles para derivar la evidencia necesaria.

Los métodos multivariantes y no lineales han demostrado tener mayor éxito extendiendo la identificación de interacciones complejas de actividad cerebral que no son abordables mediante modelos de regresión tradicionales. Considere el siguiente ejemplo en el que el patrón de activación (ej., la señal BOLD¹ en áreas distintas) bajo dos condiciones experimentales ha sido construido

¹Blood-Oxygen-Level Dependent. Señal dependiente del nivel de oxígeno en la sangre.

según la siguiente relación (reducida a dos voxels y valores intra-evento constantes por simpleza):

$$(1) \quad \begin{cases} \text{Condición } A : & voxel_1^2 + voxel_2^2 > c \\ \text{Condición } B : & voxel_1^2 + voxel_2^2 < c \end{cases}$$

Esto no es más que un círculo en el espacio de los voxels (espacio fase, más generalmente). Sea c la mitad de la magnitud del rango de valores que los voxels normalmente toman, dividido entre pi, para que haya tantos estados posibles para la condición A como para la B ; luego muestree algunos puntos aleatoriamente de manera uniforme (40 en las figuras 3.2 y 3.1). Al graficarlos en el plano, se observa que nuestras mediciones contienen suficiente información para distinguir ambos estados cerebrales, incluso por inspección visual:

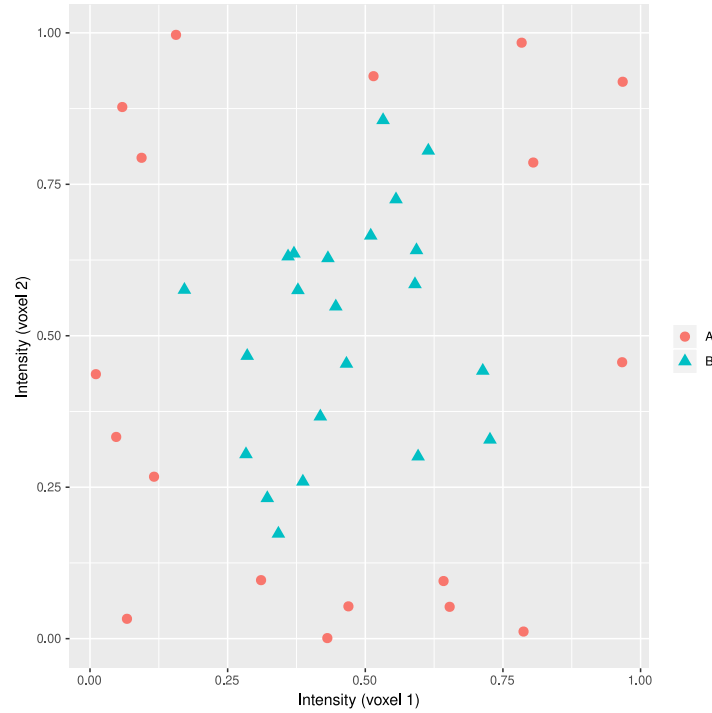


Figura 3.1: Patrón bidimensional no lineal de actividad de dos voxels, según se muestreó con 18 ensayos bajo la condición experimental A más 22 bajo la B . Las mediciones de la señal BOLD que corresponden a la condición A pueden distinguirse por su excentricidad con respecto de la condición B .

Sin embargo un análisis de regresión lineal operando en voxeles separados está destinado a fracasar (figura 3.2). Las distribuciones unidimensionales de muestra se encuentran aproximadamente centradas alrededor del mismo valor de intensidad, así que no se observa ningún efecto intercondición. Por otro lado, las mediciones están muy dispersas y lucen ruidosas. Tal enormidad en el rango de valores tampoco puede ser explicado por artefactos de movimiento ni por un proceso determinista no estacionario que empuje sistemáticamente los valores (como el modelo lineal general intenta capturar); ya que el proceso usado para generar los estados fue explícitamente ninguna de esas cosas.

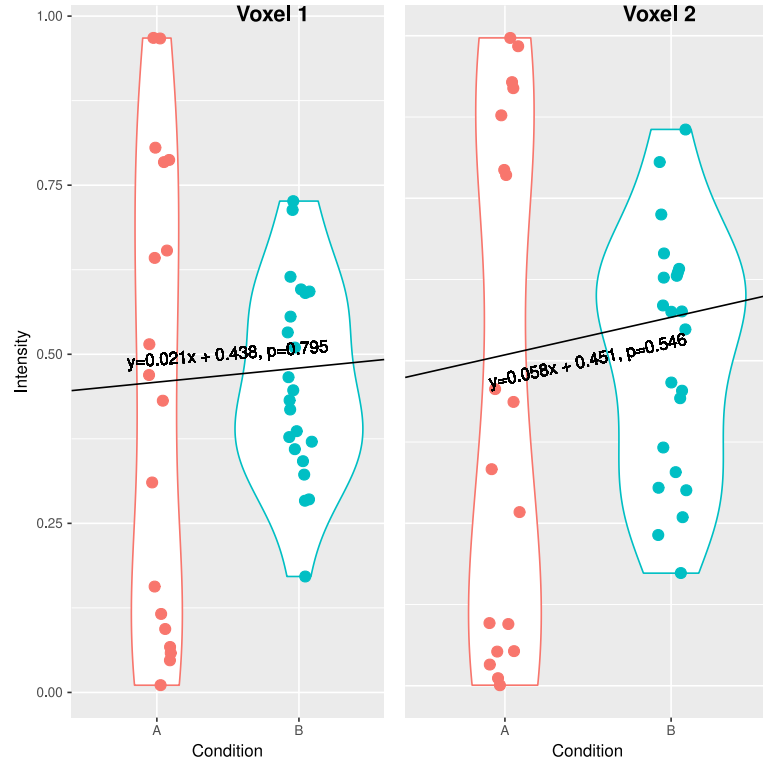


Figura 3.2: Modelos de regresión lineal simplificados y valores p de las pruebas t para las proyecciones de los datos de la figura 3.1 sobre cada eje. El efecto de las condiciones experimentales sobre voxeles individuales es negligible (atestiguado por las pequeñas pendientes de los modelos), y probablemente son resultado del azar (valores p), como se esperaba. También por construcción, una prueba de Shapiro-Wilk revela que las distribuciones de datos A no pasan el criterio de normalidad requerido por las pruebas t .

Incluso un clasificador no lineal univariado cometería una gran cantidad de errores en la intersección entre ambas distribuciones. Un patrón discriminante univariado podría observarse a partir de un análisis de espectro de

potencias bajo condiciones dinámicas especiales, pero el enfoque más adecuado por mucho es considerar ambos voxels simultáneamente; como en la figura 3.1, ya que así es como se generaron los datos en primer lugar.

Capítulo 4

Hipótesis

4.1. Pregunta de investigación

¿Hay modos distintos de percepción de emociones faciales? (Por ejemplo, con y sin atención, dependientes de la emoción).

4.2. Hipótesis

- Hipótesis de trabajo (H_1): los modos putativos de procesamiento de expresión facial se correlacionan con patrones espacio-temporales diferenciados de actividad en áreas encefálicas asociadas.
- Hipótesis nula (H_0): no se puede encontrar dependencia estadística significativa entre la percepción de expresiones faciales bajo condiciones distintas y los patrones de actividad en el encéfalo.

4.3. Predicciones

Si la ocurrencia de procesamiento de emociones faciales “automáticas” (preatentivas) o dependientes a valencia emocional fueran de la mano de

un sustrato de actividad neural, entonces un método estadístico lo suficientemente poderoso (como clasificación multivariada) debería ser capaz de discriminar dicha actividad neural. Esto asume que nuestras mediciones serán capaces de capturar la señal relevante.

Capítulo 5

Objetivos

- Estudiar las bases biológicas de la percepción emocional a escala de redes funcionales enteras compuestas por ensambles neuronales (o sus correlatos).
- Disociar la plétora propuesta de fenómenos que han sido tradicionalmente agrupados bajo la percepción facial emocional. Poner a prueba métodos tanto psicológicos, de imagen y computacionales para alcanzar este objetivo.
- Como consecuencia natural del poder descriptivo y explicativo resultante del punto anterior: poder aprovechar dichos métodos para predecir la ocurrencia de distintos flujos de trabajo de percepción emocional a partir de imágenes funcionales.
- Ayudar a resolver el debate que aflige la existencia de rutas diversas para el procesamiento de imaginiería con carga emotiva, contribuyendo con evidencia adicional que provenga de un estudio de IRMf respresentativo y controlado; así como con métodos de análisis rigurosos en el estado del arte.

Capítulo 6

Muestra, Materiales y Métodos

6.1. Muestra

El presente trabajo se basa en una submuestra de 42 sujetos sanos, escaneados en un resonador General Electric Discovery MR750 de la Unidad de Resonancia Magnética del Instituto de Neurobiología; cuyo campo magnético principal alcanza los $3,0\ T$ en su punto de magnitud máxima. Los ecos inducidos fueron registrados usando una antena de 32 canales montada a cabeza.

Los escaneos pesados a contraste T2* para imágenes funcionales se componen de 8840 cuadros cada uno. La tabla 6.1 describe sus parámetros de secuencia.

Cuadro 6.1: Parametros de secuencia utilizados durante las adquisiciones de IRMf.

Parámetro de secuencia	Valor
Tipo de adquisición	2D
Orientación de rebanadas	Transversal
Rebanadas	34
Tamaño de matriz	64×64
Tamaño de voxel	$(4\ mm)^3$
Flip angle	$\pi/2$
TR	$2000\ ms$

Parámetro de secuencia	Valor
TE	40 <i>ms</i>

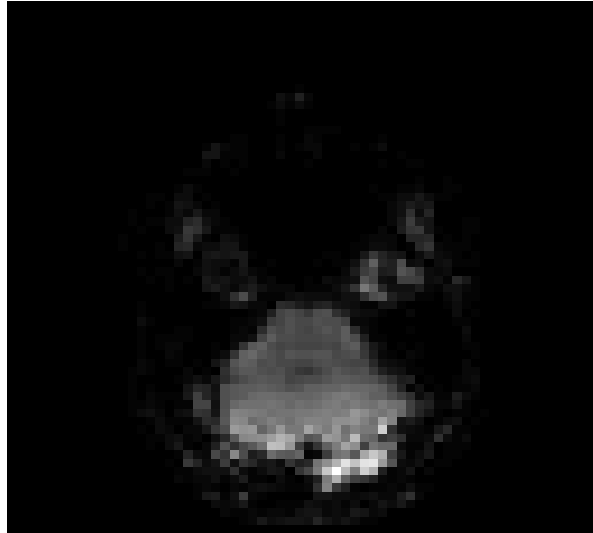


Figura 6.1: Muestra de imagen cruda dentro del conjunto de datos.

6.2. Materiales y métodos

Dado un rostro con mirada lateralizada, el sistema visual humano es inducido a redirigir la atención en la dirección sugerida; presuntamente porque información de relevancia ambiental y social podría ser descubierta en donde otros miran. Este cambio atencional abrupto se encuentra dentro del rango de intervalos rápidos de un movimiento sacádico. El fenómeno es conocido como *gaze cuing*, y ha sido usado para medir los correlatos neurales de la atención visual y su interacción con la percepción (Friesen, Kingstone 1998).

El presente estudio se basa en un diseño experimental basado en eventos para obtener secuencias de imágenes de función cerebral bajo condiciones

contrastantes. Específicamente: una variación del paradigma de *gaze cuing*. Cada sesión de registro comprende 126 bloques estímulo-respuesta, donde ciclos con rostros que desvían la mirada son intercalados con otros de control (mirada directa) en aras de estudiar la reorientación de la atención visual en conjunto con la percepción afectiva. Esto se explica más a detalle en la figura 6.2: un diagrama de sistema de estados discretos de tipo markoviano, con el que se representa una unidad $\langle \textit{gaze cuing}, \textit{contraste} \rangle$. Varias iteraciones en el diagrama estarían ocurriendo durante el registro de imágenes. Las fotografías con rostros específicos han sido abstraídas por brevedad.

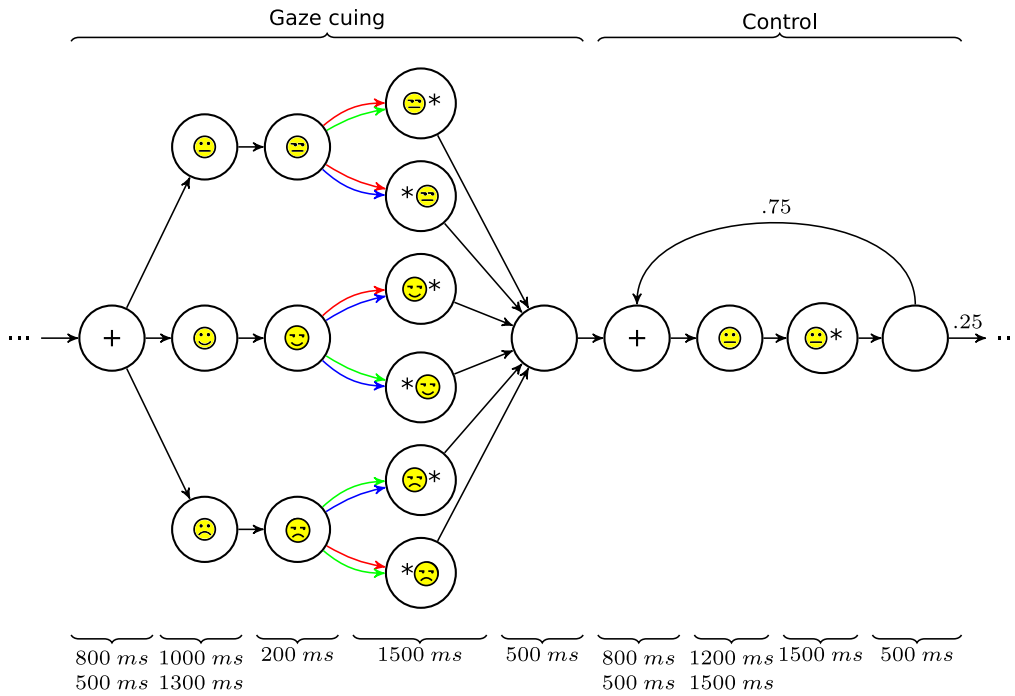


Figura 6.2: Paradigma de *gaze cuing*. Los nodos representan estímulos visuales, su orden de presentación es indicado usando flechas. A menos que se indique lo contrario, la probabilidad de transición desde un nodo se distribuye equitativamente entre todas las flechas salientes. Se le pidió a los participantes que buscaran un objetivo (asterisco) y que presionaran el botón izquierdo o derecho, según la posición del objetivo relativo a la cara. El espectro de expresiones probadas (neutral, feliz, disgustada; seguidas ya fuera por un objetivo congruente o incongruente con la mirada) fue dividido y contrabalanceado en tres secuencias, para mantener los ensayos suficientemente cortos. Las flechas coloridas indican combinaciones específicas a una de las tres secuencias.

Apéndice 1: código fuente

Listing 6.1: Modelos predictivos de un solo voxel vs multivoxel. El siguiente programa en R fue utilizado para generar las figuras 3.2 y 3.1. Además se incluye una breve demostración del clasificador SVM.

```
1 library(ggplot2)
2 ## library(cowplot)
3 library(e1071) # svm classifier
4
5 set.seed(111)
6 N <- 40
7 CONDITIONS <- c("A", "B")
8
9 ## uniformly sample N points within (0,1)x(0,1)
10 data <- data.frame(replicate(2, runif(N)))
11 colnames(data) <- c("voxel_1", "voxel_2")
12
13 ## divide space into 2 condition regions according to some boundary relation
14 label <- function(p) {
15   ## showcase nonlinear capabilities: circle of area .5 centered at (.5, .5)
16   diameter <- .5 / pi
17   if ((p["voxel_1"] - .5)**2 > diameter - (p["voxel_2"] - .5)**2) {
18     CONDITIONS[1]
19   } else {
20     CONDITIONS[2]
21   }
22 }
23 data <- cbind(data, cond = apply(data, 1, label)) # label each point
24 ## reorder according to label, for visual convenience
25 data <- data[with(data, order(cond)), ]
26
27 ## plot single-voxel models
28 lm_plot <- function(data, xname, yname, remove_ytext = FALSE) {
29   model <- summary(lm(paste0(yname, "~", xname),
30     data))
31   beta1 <- model$coefficients[paste0(xname, "B"), "Estimate"]
32   beta0 <- model$coefficients["(Intercept)", "Estimate"]
33   p <- model$coefficients[paste0(xname, "B"), "Pr(>|t|)"]
34   plot <- ggplot(data, aes(x = data[, xname],
35     y = data[, yname],
36     color = data[, xname])) +
37     labs(x = "Condition", y = "Intensity") +
38     geom_violin() +
39     geom_jitter(width = .1, size = 3) +
40     geom_abline(slope = beta1,
```

```

41     intercept = beta0) +
42     geom_text(color = "black",
43       angle = atan(beta1) * (180 / pi) * 3.75,
44       aes(x = 1.5,
45         y = .5,
46         label = paste0("y=",
47           round(beta1, 3),
48           "x + ",
49           round(beta0, 3),
50           ", p=",
51           round(p, 3)))) +
52     theme(legend.position="none")
53   if (remove_ytext) {
54     plot <- plot + theme(axis.title.y = element_blank(),
55       axis.text.y = element_blank(),
56       axis.ticks.y = element_blank())
57   }
58   shapiro.test(data[data$cond == CONDITIONS[1], as.character(yname)])
59   shapiro.test(data[data$cond == CONDITIONS[2], as.character(yname)])
60   plot
61 }
62
63 svg("./lm-vs-multivariate-1.svg")
64 cowplot::plot_grid(lm_plot(data, xname = "cond", yname = "voxel_1"), # no effect, p
65   = .795
66   lm_plot(data, xname = "cond", yname = "voxel_2", TRUE), # no effect,
67   p = .546
68   labels = c("Voxel 1", "Voxel 2"),
69   label_x = .5)
70 dev.off()
71
72 ## summary(lm(formula = cond ~ voxel_1:voxel_2, data = data)) # no interaction
73
74 svg("./lm-vs-multivariate-2.svg")
75 ggplot(data, aes(x = voxel_1, y = voxel_2, color = cond, shape = cond)) +
76   geom_point(size = 3) +
77   labs(x = "Intensity (voxel 1)",
78     y = "Intensity (voxel 2)",
79     color = "Condition") +
80   scale_color_discrete("") +
81   scale_shape_manual("", values = c(16, 17))
82 dev.off()
83
84 indices <- sample(1:nrow(data), N/2)
85 model3 <- svm(cond ~ voxel_2 + voxel_1,
86   data = data[indices, ],
87   kernel = "radial",
88   cost = 1000,
89   gamma = 0.01)
90 predict(model3, data[-indices, ])
91 svg("./lm-vs-multivariate-3.svg")
92 plot(model3, data)
93 dev.off()

```

Referencias

- Calvo, M.G., Nummenmaa, L., 2007. Processing of unattended emotional visual scenes. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(3), p.347.
- Corbetta, M., Patel, G., Shulman, G.L., 2008. The reorienting system of the human brain: From environment to theory of mind. *Neuron*, 58(3), pp.306–324.
- Damasio, A.R., 1998. Emotion in the perspective of an integrated nervous system. *Brain research reviews*, 26(2-3), pp.83–86.
- Damasio, A.R., 1996. The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 351(1346), pp.1413–1420. Available at: <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/351/1346/1413>.
- De Houwer, J. et al., 2009. Implicit measures: A normative analysis and review. *Psychological bulletin*, 135(3), p.347.
- De Schotten, M.T. et al., 2011. A lateralized brain network for visuospatial attention. *Nature neuroscience*, 14(10), p.1245.
- Draine, S., Greenwald, A., 1998. Replicable unconscious semantic priming. *Journal of experimental psychology. General*, 127, pp.286–303.
- Eimer, M., Holmes, A., McGlone, F.P., 2003. The role of spatial attention in the processing of facial expression: An erp study of rapid brain responses to six basic emotions. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 3(2), pp.97–110.
- Ekman, P.E., Davidson, R.J., 1994. *The nature of emotion: Fundamental questions.*, Oxford University Press.
- Fox, E., Russo, R., Dutton, K., 2002. Attentional bias for threat: Evidence for delayed disengagement from emotional faces. *Cognition & emotion*, 16(3), pp.355–379.
- Fox, M.D. et al., 2006. Spontaneous neuronal activity distinguishes human dorsal and ventral attention systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(26),

pp.10046–10051.

Friesen, C.K., Kingstone, A., 1998. The eyes have it! Reflexive orienting is triggered by nonpredictive gaze. *Psychonomic bulletin & review*, 5(3), pp.490–495.

Galfano, G. et al., 2011. Reorienting of spatial attention in gaze cuing is reflected in n2pc. *Social Neuroscience*, 6(3), pp.257–269. Available at: <https://doi.org/10.1080/17470919.2010.515722>.

Hermans, D., Crombez, G., Eelen, P., 2000. Automatic attitude activation and efficiency: The fourth horseman of automaticity. *Psychologica Belgica*, 40(1), pp.3–22.

Hermans, D., Houwer, J.D., Eelen, P., 2001. A time course analysis of the affective priming effect. *Cognition and Emotion*, 15(2), pp.143–165. Available at: <https://doi.org/10.1080/02699930125768>.

Ishai, A. et al., 2004. Repetition suppression of faces is modulated by emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(26), pp.9827–9832.

Jerde, T.A. et al., 2012. Prioritized maps of space in human frontoparietal cortex. *Journal of Neuroscience*, 32(48), pp.17382–17390.

Klauer, K.C. et al., 2003. Affective priming: Findings and theories. In J. Musch, K. C. Klauer, eds. *The psychology of evaluation: Affective processes in cognition and emotion*. Lawrence Erlbaum.

LeDoux, J.E., 1994. Emotion, memory and the brain. *Scientific American*, 270(6), pp.50–57.

LeDoux, J.E., Damasio, A.R., 2013. In E. R. Kandel et al., eds. *Principles of neural science*. McGraw-hill New York.

Macaluso, E., 2010. Orienting of spatial attention and the interplay between the senses. *Cortex*, 46(3), pp.282–297.

Moors, A., De Houwer, J., 2006. Automaticity: A theoretical and conceptual analysis. *Psychological bulletin*, 132(2), p.297.

Ochsner, K.N., Gross, J.J., 2005. The cognitive control of emotion. *Trends in cognitive sciences*, 9(5), pp.242–249.

Okon-Singer, H., Tzelgov, J., Henik, A., 2007. Distinguishing between automaticity and attention in the processing of emotionally significant stimuli. *Emotion*, 7(1), p.147.

Palermo, R., Rhodes, G., 2007. Are you always on my mind? A review of how face perception and attention interact. *Neuropsychologia*, 45(1), pp.75–92.

Pessoa, L. et al., 2002. Neural processing of emotional faces requires attention. *Proceedings*

of the *National Academy of Sciences*, 99(17), pp.11458–11463.

Sassi, F. et al., 2014. Task difficulty and response complexity modulate affective priming by emotional facial expressions. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67(5), pp.861–871.

Schacter, D., Gilbert, D.T., Wegner, D.M., 2011. *Psychology (2nd edition)*, New York: Worth; Worth.

Schwarz, N., 1990. Feelings as information: Informational and motivational functions of affective states. In T. E. Higgins, R. M. Sorrentino, eds. *Handbook of motivation and cognition: Foundations of social behavior*. Guilford Press, pp. 527–561.

Susa, G. et al., 2012. The self regulatory effect of attentional control in modulating the relationship between attentional biases toward threat and anxiety symptoms in children. *Cognition & emotion*, 26(6), pp.1069–1083.

Umarova, R.M. et al., 2009. Structural connectivity for visuospatial attention: Significance of ventral pathways. *Cerebral cortex*, 20(1), pp.121–129.

Vandenberghe, R., Gillebert, C.R., 2009. Parcellation of parietal cortex: Convergence between lesion-symptom mapping and mapping of the intact functioning brain. *Behavioural brain research*, 199(2), pp.171–182.

Vossel, S., Geng, J.J., Fink, G.R., 2014. Dorsal and ventral attention systems: Distinct neural circuits but collaborative roles. *The Neuroscientist*, 20(2), pp.150–159. Available at: <https://doi.org/10.1177/1073858413494269>.

Vuilleumier, P., 2005. Cognitive science: Staring fear in the face. *Nature*, 433(7021), p.22.

Vuilleumier, P. et al., 2001. Effects of attention and emotion on face processing in the human brain: An event-related fMRI study. *Neuron*, 30(3), pp.829–841.