

Word Count: 4,268

**Los patrones multivóxeles en el área fusiforme de la cara
distinguen los rostros por sexo y por raza**

Juan Manuel Contreras, Mahzarin R. Banaji y Jason P. Mitchell

Departamento de Psicología, Universidad de Harvard, Cambridge, MA, Estados Unidos

Dirija su correspondencia a:

Juan Manuel Contreras
Department of Psychology
Harvard University
Northwest Science Building
52 Oxford Street
Cambridge, MA 02138

Correo electrónico: jmcontr@fas.harvard.edu

RESUMEN

Pese a que estudios anteriores sugieren que el giro fusiforme representa el sexo y la raza de los rostros, aún no está claro si dichas representaciones están contenidas en el área fusiforme de la cara [FFA por su sigla en inglés]—la porción del giro fusiforme que se define en términos de su función de responder preferencialmente a los rostros. Aquí usamos imágenes por resonancia magnética funcional para evaluar si FFA representa a los rostros por sexo y por raza. A quienes participaron se les escaneó mientras categorizaban el sexo y la raza de personas desconocidas: hombres negros, mujeres negras, hombres blancos y mujeres blancas. El análisis del patrón multivariante reveló que los patrones multivóxeles en FFA—y no así en otras regiones del cerebro que son facialmente selectivas ni en otras regiones del cerebro que son selectivas en cuanto a la categoría ni en la corteza visual temprana—distinguían los rostros por sexo y por raza. Específicamente, los patrones de respuestas que se basan en el vóxel se asemejaban más entre individuos del mismo sexo que entre hombres y mujeres, y entre individuos de la misma raza que entre individuos negros y blancos. Al mostrar que FFA representa el sexo y la raza de los rostros, esta investigación contribuye a nuestra incipiente comprensión de la manera en que el cerebro humano percibe a individuos de dos categorías sociales fundamentales.

INTRODUCCIÓN

Un paso importante en la neurociencia cognitiva fue el descubrimiento de una región del giro fusiforme que responde preferencialmente a los rostros humanos, a la que se llamó área fusiforme de la cara [FFA; 1,2]. Se cree que FFA extrae información física que distingue los rostros de las personas, esto es, que representa la identidad facial (para una revisión, véase [3]). Los rostros familiares suscitan más actividad neural en FFA que los rostros desconocidos [4] y las lesiones en FFA afectan el reconocimiento de rostros [5]. Más aún, los experimentos que usan la adaptación neural —en los cuales la repetida presentación de la propiedad de un estímulo reduce la actividad neural en regiones del cerebro que representan la propiedad [6]— sugieren que FFA es más sensible a los cambios en la identidad facial que a los cambios físicos que no tienen relación alguna con la identidad facial [7,8]; cf. [9,10].

Más es imposible identificar a las personas por sus rostros sin categorizar con precisión su sexo y su raza. El sexo y la raza de un rostro determinan la forma en que se representa su identidad, vinculando inextricablemente la identidad del rostro con estas dos categorías sociales (para una revisión, véase [11]). En efecto, la morfología facial muestra pronunciadamente el dimorfismo sexual y las diferencias raciales [12,13]. Recientemente, una serie de estudios usó el análisis del patrón multivariante [MVPA por su sigla en inglés] para investigar si el giro fusiforme representa el sexo y la raza de los rostros. Los análisis de datos univariantes promedian las respuestas de múltiples vóxeles. Este promedio calculado espacialmente reduce el contenido de la información de los datos, que puede existir en el ámbito de las respuestas individuales de múltiples vóxeles o *patrones multivóxeles* [14]. En contraste, MVPA indaga en estos patrones para revelar las representaciones que contiene una región del cerebro (para una revisión, véase [15]). Por ejemplo, es probable que el sexo esté representado en una región del

cerebro en la cual los rostros de hombres y mujeres suscitan patrones multivóxeles diferenciados, pero en la cual los rostros del mismo sexo producen patrones similares.

Dos estudios sugieren que el giro fusiforme representa el sexo y la raza de los rostros. En uno de los estudios, a las personas que participaban en un escaneo de imágenes por resonancia magnética funcional [fMRI por su sigla en inglés] se las expuso a rostros de hombres y mujeres, tanto célebres como desconocidos [16]. Los clasificadores de patrones decodificaron el sexo de los rostros a partir del giro fusiforme. En el otro estudio, las personas que participaban fueron escaneadas mientras observaban rostros de individuos desconocidos, negros y blancos [17]. Los clasificadores de patrones decodificaron la raza de los rostros a partir del giro fusiforme. Sin embargo, no se ha probado el hallazgo relativo al sexo en FFA; tampoco se ha duplicado de modo confiable el hallazgo relativo a la raza en FFA. Los patrones multivóxeles en FFA de las personas participantes que observaban rostros de individuos negros y blancos distinguieron los rostros por su raza únicamente cuando estas personas revelaban gran prejuicio contra las personas negras [18]. Otro estudio, en el cual las personas participantes observaban fotografías de rostros asiáticos y blancos, halló que los patrones multivóxeles en FFA no pueden distinguir los rostros por su raza [19]. Por ende, estos estudios sugieren que es posible que el giro fusiforme represente el sexo y la raza. No obstante, la evidencia de que FFA representa la raza no arroja resultados uniformes (un resultado negativo y un resultado positivo calificado) y ningún estudio que conozcamos ha examinado si FFA representa al sexo.

Adicionalmente, los estudios que decodificaron las categorías sociales a partir del giro fusiforme [16,17,18] tienen una limitación importante. No equipararon, en las fotografías de categorías sociales, las diferencias físicas sin relación alguna con la estructura facial, como la luminosidad y el contraste, y diferencias notorias como la longitud del cabello.

Consecuentemente, es posible que los patrones diferenciados asociados a categorías sociales no hubiesen reflejado diferencias faciales. Consistente con esta inquietud, los clasificadores de patrones en estos estudios decodificaron las categorías sociales de los rostros en la corteza visual temprana, la cual no es facialmente selectiva.

El presente experimento continua el estudio de las representaciones de la raza en FFA e inicia el estudio de las representaciones del sexo en esta región del cerebro facialmente selectiva escaneando a participantes mientras categorizaban por sexo y por raza los rostros desconocidos de hombres negros, mujeres negras, hombres blancos y mujeres blancas. La meta del presente experimento es determinar si, a pesar de la significativa variabilidad en la apariencia de la gente en las fotografías, un patrón diferenciado de vóxeles representa a rostros femeninos y masculinos y a rostros negros y blancos, lo cual sugeriría que FFA incluye representaciones de dicha información de categoría social. Evitamos de dos modos la importante limitación que impondrían estímulos a los que no se ha controlado lo suficiente. Primero, usamos fotografías cuya apariencia y expresión emocional son uniformes, recortando rasgos que no son relevantes al rostro (como el peinado) y el fondo. También controlamos diferencias visuales poco relevantes igualando la luminosidad y el contraste en todas las categorías sociales. Segundo, nuestros estímulos ortogonalizan el sexo y la raza para reducir la probabilidad de que si FFA distingue los rostros por sexo y por raza, no lo haga apoyándose en diferencias fotográficas sin relación con la estructura facial.

MÉTODO

Participantes

Las personas que participaron dieron su consentimiento por escrito conforme a la exigencia aprobada para este estudio por el Comité sobre seres humanos como objeto de investigación

(*Committee on the Use of Human Subjects in Research*) de la Universidad de Harvard, el cual específicamente aprobó este estudio. Diecisiete estudiantes de la universidad y miembros de la comunidad de Cambridge, MA, participaron en este estudio (9 mujeres; de edades que oscilaban entre 18 y 34, $M = 22,18$). Todas las personas participantes eran diestras; ninguna tenía historial de problemas neurológicos; y todas se describían como blancas.

Estímulos y procedimiento conductual

En una *tarea de categorización*, las personas que participaban observaron 192 fotografías de hombres negros, mujeres negras, hombres blancos y mujeres blancas que les eran desconocidos(as) (48 fotografías de cada condición). Como la investigación previa estaba limitada por un control insuficiente de los estímulos, los estímulos de este estudio fueron meticulosamente estandarizados para descartar interpretaciones alternativas de cualquiera de los resultados. Las fotografías fueron recolectadas de una variedad de bases de datos en línea y mostraban a gente adulta joven con la vista al frente, la boca cerrada, una expresión neutral y mirando directamente a la cámara. Se les dio tonos grisáceos a las fotografías y se las recortó en cuadrados, se eliminó el fondo, y se igualó la luminosidad y el contraste de los rostros para todas las condiciones usando el código interno de MATLAB (MathWorks, Natick, MA). Por ejemplo, las imágenes en tonos de gris de los rostros negros y blancos diferían en luminosidad, medida en números enteros de RGB [rojo, verde y azul, por su sigla en inglés] de 8 bits ($M_{\text{negros}} = 106,67$, $M_{\text{blancos}} = 144,52$), $t(95) = 8,11$, $p < 10^{-12}$, pero el pretratamiento eliminó esta diferencia ($M_{\text{negros}} = 130$, $M_{\text{blancos}} = 130$).

En cada recorrido del escáner, las personas participantes categorizaban los rostros, ya sea por sexo (hombres, mujeres) o por raza (negra, blanca), usando los dedos índice y medio de su

mano derecha que descansaba en un panel de botones. A cada recorrido se le asignó pseudoaleatoriamente una dimensión de categorización (sexo, raza). Antes de cada recorrido se indicaba a las personas participantes cuál dimensión de categorización usar (sexo o raza) y cuál botón correspondía a cada categoría social. Luego, las(os) participantes realizaban 10 pruebas de práctica con un conjunto de 10 rostros que no fue usado en la tarea de categorización. Para todos los recorridos contrarrestamos las asignaciones de botón de manera de asignar cada categoría social a cada dedo la misma cantidad de veces; además, cada fotografía era categorizada con el dedo índice una vez y con el dedo medio una vez.

Cada prueba duró 2000 ms. En los primeros 500 ms se mostraba una fotografía en el centro de la pantalla. En los 1500 ms restantes de cada prueba la fotografía era remplazada por una cruz blanca de fijación, que alentaba a las(os) participantes a prestar cuidadosa atención a las fotografías. Las fotografías fueron separadas en 8 recorridos, cada una de 48 fotografías (12 en cada una de las cuatro categorías sociales, p.ej., hombres negros). Para estimar de manera óptima la respuesta de fMRI al evento, las pruebas fueron entreveradas en orden pseudoaleatorio y separadas por un intervalo variable de estímulo (0-10 s) en el que las(os) participantes miraban pasivamente una cruz blanca de fijación al centro de la pantalla [20].

Después de la tarea de categorización, las personas participantes realizaron dos recorridos de un *localizador de rostro* canónico, utilizado para identificar las regiones corticales que responden a rostros [1]. En cada recorrido, las(os) participantes miraban fotografías de rostros humanos, cuerpos humanos, escenas, objetos caseros y versiones entremezcladas de objetos caseros. Cada fotografía aparecía por 1 s y le seguía una pantalla en blanco por 333 ms. Cada categoría estaba unida en bloques para producir 10 bloques de 11 fotografías cada uno, 2 bloques por categoría. En cada bloque se presentaba una fotografía en dos ocasiones; se instruyó a

las(os) participantes a presionar el botón cada vez que detectaran esta repetición. Los bloques estaban separados por un intervalo de estímulo que duraba 12 s y se presentaban en un orden pseudoaleatorio tal que las(os) participantes no podían anticipar la categoría del siguiente bloque. Durante la tarea, las(los) participantes fijaban la vista en un pequeño círculo negro que durante todo el experimento estuvo al centro de la pantalla (inclusive mientras se presentaban las fotografías).

Procedimiento para generar imágenes funcionales

Se obtuvo datos de imágenes en un escáner 3.0 Tesla Tim Trio de Siemens (Siemens, Erlangen, Alemania), con una bobina estándar para la cabeza, del *Center for Brain Science* [Centro de Ciencias del Cerebro] de la Universidad de Harvard. Los recorridos funcionales usaron una secuencia de impulsos ecoplanar y en ecogrado (TR = 3000 ms; TE = 28 ms; ángulo de giro = 85°; campo visual = 216 x 216 mm; matriz = 72 x 72; resolución en plano = 2,5 x 2,5 mm; espesor de sección = 2,5 mm). Se obtuvo cuarenta y cinco secciones axiales intercaladas y paralelas a la línea AC-PC para cubrir la mayor parte del cerebro; no se cubrieron porciones del lóbulo parietal superior. La tarea de categorización consistió en 8 recorridos de 43 adquisiciones de volumen cada uno y el localizador de rostros consistió en 2 recorridos de 98 adquisiciones de volumen cada uno. A cada recorrido funcional le precedieron 8 s de impulsos gradientes y de radiofrecuencia con los que el escáner pudo alcanzar un estado de imanación estable. Después de los recorridos funcionales en el experimento se condujo un escaneo estructural de alta resolución y potenciado en T1 (MEMPRAGE).

Análisis de los datos de las imágenes funcionales

Análisis univariante. Los datos de fMRI fueron pretratados y analizados usando el Mapeo Estadístico Paramétrico (*Statistical Parametric Mapping*) 8 (SPM8; Departamento Wellcome de Neurología Cognitiva, Londres, Reino Unido) y el código interno de MATLAB (MathWorks, Natick, MA) escrito por Dylan Wagner (Dartmouth College, Hanover, NH). Para hacer correcciones por el movimiento de la cabeza, una transformación de cuerpo rígido realineó las imágenes en cada recorrido y por todos los recorridos usando la primera imagen funcional como referencia. Las imágenes realineadas fueron tesadas para reducir cualquier distorsión adicional causada por el movimiento de la cabeza. Los datos tesados fueron normalizados en un espacio esterotáxico (vóxeles isotrópicos de 2 mm) sobre la base de la plantilla SPM8 EPI que se ajusta al espacio de la plantilla del cerebro de ICBM 152 [Instituto Internacional de Mapeo Cerebral] y se aproxima al espacio en el atlas de Talairach y Tournoux. Las imágenes normalizadas fueron alisadas espacialmente usando un núcleo gaussiano (8 mm de anchura completa a mitad del máximo) para maximizar la razón entre la señal y el ruido, y reducir el impacto de las diferencias individuales en la neuroanatomía funcional. Por último, los recorridos individuales fueron analizados por separado para cada participante con el fin de hallar volúmenes atípicos usando Artifact Detection Toolbox (ART [Caja de herramientas de detección de artefactos]; Instituto McGovern para la Investigación del Cerebro, Cambridge, MA). Los volúmenes atípicos fueron definidos como volúmenes en los cuales el movimiento de la cabeza de la persona participante excedía 0,5 mm o 1° y los volúmenes en los cuales la señal global tenía más de tres desviaciones estándar por fuera de la señal media global para todo el recorrido.

Para cada participante se construyó un modelo lineal generalizado (GLM por su sigla en inglés) para incluir los efectos de las tareas y los regresores que no interesan (recorrido medio, tendencia lineal para dar cuenta de la deriva de la señal con el tiempo, seis parámetros de

movimiento calculados durante la realineación y, de haberlos, escaneos atípicos identificados por ART, y pruebas en las cuales no hubo respuesta de quienes participaban). Para calcular estimaciones de parámetro sin ponderar (β) y ponderadas (t) para cada condición en cada vóxel, GLM fue convolucionado con una función de respuesta canónica hemodinámica (HRF, *Hemodynamic Response Function*). El GLM de la tarea de categorización también fue convolucionado con los derivados temporales y espaciales de HRF, lo que explica una porción significativa de variabilidad BOLD por encima y más allá del modelo canónico en diseños relativos a eventos [21]. Las pruebas se modelaron como eventos de duraciones iguales a sus tiempos respectivos de reacción para dar cuenta de las diferencias en tiempos de respuesta (RTs por su sigla en inglés) en todas las condiciones [22].

Las comparaciones de interés fueron implementadas como contrastes lineares. En la tarea de categorización, los contrastes lineares identificaron vóxeles significativos con un criterio estadístico en términos del vóxel de $p < ,005$. Se impuso como requisito que las regiones de interés (ROIs, *Regions-of-interest*) excedieran los 75 voxels en extensión, estableciendo un umbral estadístico para todo el experimento de $p < ,05$, corregido para comparaciones múltiples, sobre la base de simulaciones de Monte Carlo [23]. En el localizador de rostros se identificaron ROIs para cada participante con un criterio estadístico en términos del vóxel de, a lo sumo, $p < ,05$ (p media = ,005). Se condujeron comparaciones estadísticas adicionales entre las condiciones en MATLAB usando ANOVA en las estimaciones de parámetros asociadas a cada tipo de prueba.

Análisis multivariante. El pretratamiento y la estimación GLM fueron idénticas a las del análisis univariante de la tarea de categorización de rostros, con la salvedad de que las imágenes

normalizadas fueron alisadas espacialmente usando un núcleo gaussiano más pequeño (5 mm de anchura completa a mitad del máximo).

Las pruebas fueron dispuestas por sexo (hombres, mujeres), raza (negra, blanca) y tipo de recorrido (impar, par) para producir ocho condiciones (p. ej., *hombres negros -par*). Los contrastes lineares compararon cada condición con la línea base. Siguiendo a Misaki, Kim, Bandettini y Kriegeskorte [24], estas estimaciones de parámetros fueron usadas en los demás análisis para reducir la influencia de vóxeles ruidosos. Las estimaciones de parámetros fueron extraídas de cada uno de las ROIs definidas por el localizador de rostros y correlacionadas de tres maneras: correlaciones del mismo sexo (*hombres negros-impar con hombres blancos-par, hombres negros-par con hombres blancos-impar, mujeres negras-impar con mujeres blancas-par, mujeres negras-par con mujeres blancas-impar*), correlaciones de la misma raza (*hombres negros-impar con mujeres negras-par, hombres negros-par con mujeres negras-impar, hombres blancos-impar con mujeres blancas-par, hombres blancos-par con mujeres blancas-impar*) y correlaciones de distintas categorías (*hombres negros-impar con mujeres blancas-par, hombres blancos-impar con mujeres negras-par, mujeres negras-impar con hombres blancos-par, mujeres blancas-impar con hombres negros-par*).

Las correlaciones se transformaron, siguiendo a Fisher, a valores de z y se promediaron para producir una correlación del mismo sexo, una correlación de la misma raza y una correlación de distinta categoría. Entonces, la correlación de distinta categoría fue restada de las otras correlaciones promedio para producir dos diferencias de correlación. Por último, las pruebas t en una muestra y de una cola determinaron si estas diferencias de correlación eran confiablemente mayores a cero en toda la población participante.

RESULTADOS

Datos conductuales. El Cuadro 1 muestra las desviaciones medias y estándares de las respuestas y de RTs. Las personas participantes categorizaron los rostros con mayor precisión y mayor rapidez por sexo ($M_{\text{precisión}} = 0,98$, $M_{\text{RT}} = 670$ ms) que por raza ($M_{\text{precisión}} = 0,95$, $M_{\text{RT}} = 712$ ms), $t(16) > 5,65$, $ps < 10^{-5}$, $ds \text{ de Cohen} > 1,41$. Quienes participaban categorizaron a los hombres ($M_{\text{precisión}} = 0,97$, $M_{\text{RT}} = 684$ ms) con mayor precisión y mayor rapidez que a las mujeres ($M_{\text{precisión}} = 0,96$, $M_{\text{RT}} = 699$ ms), $t(16) > 2,25$, $ps < ,04$, $ds > 0,56$. Aunque los(as) participantes no mostraron mayor precisión al categorizar rostros negros ($M_{\text{precisión}} = 0,96$) que rostros blancos ($M_{\text{precisión}} = 0,96$), $p = ,15$, mostraron mayor rapidez en categorizar rostros negros ($M_{\text{RT}} = 683$ ms) que rostros blancos ($M_{\text{RT}} = 699$ ms), $t(16) = 3,05$, $p < ,01$, $d = 0,76$. El sexo y la raza en las fotografías no interactuaron en la precisión y RT de los(as) participantes, ya sea colapsando en todos los recorridos de sexo y raza, al interior de los recorridos de sexo o al interior de los recorridos de raza, todas las $ps > ,22$. Más aún, la interacción en 3 vías del sexo en la fotografía, de la raza en la fotografía y del recorrido (sexo, raza) no fue estadísticamente confiable para la precisión y RT, todas las $ps > ,28$.

Los datos de las imágenes funcionales

Análisis univariantes. Se usó el localizador de rostros para identificar FFA y controlar las regiones del cerebro por separado (Cuadro 2). Duplicando investigación anterior [1,2], el contraste de los rostros $>$ [cuerpos + escenas + objetos + objetos entremezclados] identificó una región bilateral del giro fusiforme que corresponde a FFA. Como regiones facialmente selectivas que sirvieran de testigo, este contraste también identificó una región bilateral del giro occipital inferior que corresponde al área facial occipital (OFA por su sigla en inglés) [25] y una

región bilateral del surco temporal superior (STS por su sigla en inglés) [26]. Como regiones selectivas en cuanto a la categoría pero no al rostro que nos sirvieran de testigo, el contraste de *escenas > objetos* identificó una región bilateral del giro parahipocampal que corresponde al área del sitio parahipocampal (PPA por su sigla en inglés) [27]. Además, el contraste de *objetos > objetos entremezclados* identificó una región bilateral de la corteza occipital lateral que corresponde al complejo occipital lateral (LOC por su sigla en inglés) [28].

Para completar, los análisis de univariantes de la tarea de categorización examinaron diferencias potenciales entre las fotografías como una función de su sexo y su raza. Para estos análisis, las pruebas se dispusieron por sexo (hombres, mujeres) y por raza (negra, blanca; Cuadro 3).

Análisis multivariantes. Primero, examinamos si FFA mantiene representaciones distintivas de rostros femeninos y rostros masculinos; esto es, si los patrones multivóxeles en FFA muestran mayor correlación entre fotografías de individuos del mismo sexo que entre fotografías de hombres y mujeres (Figura 1). Consistente con la hipótesis de que FFA distingue los rostros por el sexo, las correlaciones de patrones en FFA fueron mayores entre las fotografías del mismo sexo que entre las fotografías de hombres y mujeres (FFA derecha, $t(15) = 3,03, p < ,005, d$ de Cohen = 0,78; FFA izquierda, $t(15) = 2,73, p < ,008, d$ de Cohen = 0,70). Las diferencias de correlación entre FFA derecho e izquierdo fueron equivalentes, $t(14) = 0,69, p = 0,50$, lo cual sugiere que ambas regiones distinguieron los rostros por su sexo a un grado similar.

Segundo, examinamos si FFA mantiene representaciones distintivas de rostros negros y blancos; esto es, si los patrones multivóxeles en FFA muestran mayor correlación entre las fotografías de individuos de la misma raza que entre las fotografías de individuos negros y

blancos (Figura 1). Consistente con la hipótesis de que FFA distingue los rostros por la raza, las correlaciones de patrones en FFA fueron mayores entre las fotografías de la misma raza que entre las fotografías de rostros negros y rostros blancos (FFA derecha, $t(15) = 1,72$, $p = ,05$, d de Cohen = 0,44; FFA izquierda, $t(15) = 2,21$, $p < .02$, d de Cohen = 0,57). Las diferencias de correlación entre FFA derecha e izquierda fueron equivalentes, $t(14) = 1,01$, $p = 0,33$, lo cual sugiere que ambas regiones distinguieron los rostros por su raza a un grado similar.

Las diferencias de correlación que sugieren representaciones distintivas de rostros masculinos y rostros femeninos y de rostros negros y rostros blancos en FFA son estadísticamente confiables con una muestra pequeña, aunque no están corregidas para comparaciones múltiples (Figura 1). Aun así, los tamaños de efecto correspondientes no son pequeños. Las diferencias de correlación que corresponden a las representaciones del sexo tienden a tener un gran tamaño de efecto (d de Cohen = 0,8) [29] mientras que las diferencias de correlación que corresponden a las representaciones de la raza tienden a tener un tamaño de efecto mediano (d de Cohen = 0,5) [29].

Especulamos sobre si FFA es la única región del cerebro facialmente selectiva que representa el sexo y la raza de los rostros porque es la región facialmente selectiva más sensible a la identidad facial [3]. Para probar esta hipótesis repetimos MVPA con patrones extraídos de otras regiones del cerebro, definidas por el localizador de rostros, que incluían las que ya habían sido implicadas en procesar rostros, como OFA y STS [3] (Figura 1). Ni OFA ni STS derecho o izquierdo distinguieron los rostros de manera confiable por la categoría social, $ps > ,13$. Esto sugiere que FFA es la única, entre las regiones del cerebro facialmente selectivas, en decodificar el sexo y la raza de los rostros. Como es posible que exista información sobre los rostros en la corteza que es selectiva en términos de categoría y que está por fuera de FFA [30,31], repetimos

los análisis de similitud de patrón con patrones extraídos de PPA que es selectivo en términos de lugares y de LOC que es selectivo en términos de objetos (Figura 1). Ni PPA ni LOC derecho o izquierdo distinguieron los rostros de manera confiable por categoría social, $p_s > ,26$. Esto sugiere que las otras regiones del cerebro que son selectivas en términos de la categoría carecen de información sobre el sexo y la raza de los rostros.

No obstante, es posible que FFA diferencie las fotografías no por las propiedades faciales que varían por categoría social sino por diferencias físicas menores entre las fotografías, muchas de las cuales eliminamos seleccionando las fotografías cuidadosamente y haciéndoles un intenso pretratamiento (véase *Método: Estímulos y procedimiento conductual*); aun así quisimos probar esta hipótesis alternativa empíricamente. Por lo tanto, analizamos los patrones multivóxeles de la corteza visual temprana, que procesa rasgos visuales menores, usando coordenadas esterotáficas del centro de masa de la confluencia fóvea derecha ($[x\ y\ z] = 25, -82, -15$) e izquierda ($[x\ y\ z] = -29, -80, -18$) de las áreas del cerebro V1, V2 y V3, que representa la porción central del campo visual, como lo definió Dougherty *et al.* [32] en términos de función, empleando para ello cartografía retinotópica [33]. Extrajimos patrones de esferas de 8 mm centradas en estas coordenadas esterotáficas y repetimos los análisis de similitud de patrón con estos patrones. Ni la confluencia fóvea derecha ni la izquierda distinguieron los rostros de manera confiable por su categoría social, $p_s > ,66$. Esto sugiere que las diferencias visuales menores entre las fotografías no llevan a que los patrones multivóxeles en FFA diferencien los rostros por sexo y por raza.

Como una forma adicional de determinar si las diferencias visuales menores entre los estímulos resultaron en patrones multivóxeles distintivos para rostros de categorías sociales diferentes se condujo un mapeo funcional del cerebro en base a información con reflectores

esféricos multivariantes [14], para determinar si alguna porción del lóbulo occipital diferenciaba los rostros por sexo o por raza. Para cada vóxel en el cerebro extrajimos las estimaciones de parámetro de cada uno de los ocho contrastes (p. ej., *hombre negro-par*) dentro de un vecindario esférico (radio de 8 mm; tamaño del vecindario en vóxeles muestreados nuevamente, $M = 254$, $SD = 11$) similar a los que emplearon Kriegeskorte y sus colegas [14]. Para cada vecindario se calculó una diferencia de correlación del mismo sexo y una diferencia de correlación de la misma raza, tal cual se hizo antes (véase *Método: Análisis de los datos de las imágenes funcionales*), y se las asignó al vóxel central. Este análisis produjo dos mapas de diferencia de correlación expresados en puntajes z para cada participante, indizando el grado al cual se da cada vóxel en un vecindario en el que los patrones multivóxeles diferencian los rostros femeninos de los rostros masculinos (primer mapa) y los rostros negros de los rostros blancos (segundo mapa). Por último, un análisis univariante de efectos aleatorios identificó regiones del cerebro en cada mapa que mostraron diferencias de correlación confiablemente mayores al cero para toda la población participante. Para cada vóxel en cada mapa realizamos una prueba t en una muestra y de cola derecha contra cero con los valores de z correspondientes de toda la población participante. Con la corrección para las comparaciones múltiples (véase *Método: Análisis de los datos de las imágenes funcionales*), ninguna región del cerebro en el lóbulo occipital mostró patrones multivóxeles distintivos para rostros femeninos y rostros masculinos o para rostros negros y rostros blancos (Cuadro 4).

Para terminar, investigamos si la tarea de quien participaban (categorización por sexo o por raza) influyó en los patrones multivóxeles en FFA probando de dos formas los efectos de la dimensión de categorización. Primero, dispusimos las pruebas por sexo (hombres, mujeres), por raza (negra, blanca), por dimensión de categorización (sexo, raza) y por tipo de recorrido (impar,

par) para producir 16 condiciones (p.ej., *hombres negros categorizados por sexo-par*). Las mismas diferencias de correlación de antes (*mismo sexo > diferente categoría, misma raza > diferente categoría*) fueron calculadas por separado para cada dimensión de categorización (p.ej., *mismo sexo categorizado por sexo > diferente categoría categorizada por sexo*). Ninguna de estas diferencias de correlación era confiablemente mayor a cero en FFA derecho e izquierdo, $ps > ,16$. Es muy probable que la discrepancia entre estos resultados y los resultados positivos del análisis, en el cual las pruebas no fueron dispuestas por dimensión de categorización, la hayan causado diferencias en la contundencia estadística. El análisis que involucra disponer por dimensión de categorización tiene la mitad de pruebas por condición que el análisis original, lo cual reduce la habilidad del primero de detectar pequeñas diferencias entre los patrones multivóxeles en todas las condiciones.

Segundo, las pruebas fueron dispuestas por dimensión de categorización (sexo, raza) y por tipo de recorrido (impar, par) para producir 4 condiciones (*raza-impar, raza-par, sexo-impar, sexo-par*). Calculamos las correlaciones de *la misma categorización* (*raza-impar con raza-par, sexo-impar con sexo-par*) y las correlaciones de *diferente categorización* (*raza-impar con sexo-par, sexo-impar con raza-par*). La correlación promedio de diferente categorización fue restada de la correlación promedio de la misma categorización para producir una diferencia de correlación. Sin embargo, esta diferencia de correlación no fue confiablemente mayor a cero en FFA derecha e izquierda, $ps > ,24$.

DISCUSIÓN

Los estudios anteriores sugirieron que el giro fusiforme representa al sexo y a la raza de los rostros [16,17] aunque no quedó claro si FFA, en particular, representa esta información [18,19].

En el presente experimento observamos que los patrones multivóxeles en FFA bilateral distinguieron los rostros por sexo y por raza. Quienes participaban categorizaron episódicamente por sexo y por raza las fotografías de personas desconocidas: hombres negros, mujeres negras, hombres blancos y mujeres blancas. Pese a que la gente en las fotografías variaba significativamente en apariencia, un patrón distintivo de vóxeles distinguió entre rostros femeninos y rostros masculinos y entre rostros negros y rostros blancos, lo cual sugiere que FFA bilateral incluye representaciones de dicha información de categoría social. Las diferencias en patrones multivóxeles que sugieren representaciones distintivas de rostros masculinos y rostros femeninos y de rostros negros y rostros blancos en FFA fueron pequeñas pero estadísticamente confiables. Más aún, sus tamaños de efecto recorren una gama que va de efectos medianos a efectos grandes [29].

Es posible que estas representaciones de categoría social sean componentes de las representaciones de identidad facial que se cree existen en FFA [3]. Como la identidad facial está estrechamente vinculada a categorías sociales como la edad, el sexo y la raza [11], parece razonable que FFA represente la identidad facial y las categorías sociales de los rostros. Es probable que FFA sea el sitio neuroanatómico en el cual se integran las categorías sociales relevantes a la identidad facial (esto es, la edad, la raza y el sexo) para formar representaciones holísticas de rostros individuales. Esta hipótesis es consistente con la investigación conductual que sugiere que el cerebro humano codifica la identidad facial en referencia a categorías sociales [34].

Los análisis de los patrones multivóxeles en otras regiones del cerebro sugieren la singularidad de FFA para las representaciones del sexo y de la raza de los rostros. Los patrones extraídos de otras regiones del cerebro facialmente selectivas (OFA y STS), de otras regiones del

cerebro que seleccionan en términos de categoría (PPA y LOC) y de la corteza visual temprana (confluencia fóvea de V1, V2 y V3) no diferenciaron los rostros por sexo ni por raza. Los resultados nulos de los patrones en la corteza visual temprana sugieren que la cuidadosa selección de los estímulos y el intenso pretratamiento eliminaron las diferencias menores, sin relación al sexo y la raza, de los estímulos que podrían haber estado en las fotografías originales. Los resultados nulos son especialmente importantes en este experimento porque los estudios anteriores que decodificaron el sexo o la raza de los rostros a partir del giro fusiforme también decodificaron el sexo y la raza a partir de la corteza visual temprana [16,17,18].

Se cree que FFA procesa aspectos perceptuales, y no así semánticos, de la percepción de personas [3]; cf. [35]. Por esta razón, no es probable que sea semántica la información que FFA representa sobre el sexo y la raza; esto es, es posible que FFA “distinga” rostros por sexo y por raza sin “saber” lo que significan estas diferencias. Aun así es probable que FFA cumpla una función crítica en la categorización social. Una de las direcciones más fructíferas que podría tomar la investigación sobre representaciones del sexo y de la raza en FFA es estudiar la manera en que esta información guía la recuperación semántica sobre las categorías sociales en regiones más anteriores del lóbulo temporal, que constantemente se ven implicadas en semántica, en general sobre la gente (para una revisión, véase [36]) y en especial sobre estereotipos [37]. La evidencia sugiere que el acto de estereotipar puede modular actividad neural en FFA [38] pero se desconoce el modo en que las representaciones en FFA alimentan procesos sociales de mayor orden como el acto de estereotipar.

En suma, el presente experimento sugiere que FFA distingue los rostros por categorías sociales como el sexo y la raza. La investigación actual contribuye así a nuestra naciente

comprensión de la manera en que el cerebro humano percibe a los individuos de categorías sociales diferentes.

AGRADECIMIENTOS

JMC, MRB y JPM agradecen a Anna Leshinskaya, Michael Cohen, Katharine Dobos, Ahn Ton y Rachel Wong por su asesoramiento y asistencia. El localizador de rostro fue modificado a partir de una plantilla proporcionada gentilmente por el Laboratorio de ciencias visuales [*Vision Sciences Laboratory*] de la Universidad de Harvard.

REFERENCIAS

1. Kanwisher N, McDermott J, Chun MM (1997) The fusiform face area: A module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *J Neurosci* 17: 4302-4311.
2. McCarthy G, Puce A, Gore JC, Allison T (1997) Face-specific processing in the human fusiform gyrus. *J Cogn Neurosci* 9: 605-610.
3. Kanwisher N, Yovel G (2006) The fusiform face area: A cortical region specialized for the perception of faces. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 361: 2109-2128.
4. Grill-Spector K, Knouf N, Kanwisher N (2004) The fusiform face area subserves face perception, not generic within-category identification. *Nat Neurosci* 7: 555-562.
5. Barton JJ, Press DZ, Keenan JP, O'Connor M (2002) Lesions of the fusiform face area impair perception of facial configuration in prosopagnosia. *Neurol* 58: 71-78.
6. Grill-Spector K, Malach R (2001) fMR-adaptation: A tool for studying the functional properties of human cortical neurons. *Acta Psychol* 107: 293-321.
7. Rotshtein P, Henson RN, Treves A, Driver J, Dolan RJ (2005) Morphing Marilyn into Maggie dissociates physical and identity face representations in the brain. *Nat Neurosci* 8: 107-113.
8. Davies-Thompson J, Newling K, Andrews TJ (2012) Image-invariant responses in face-selective regions do not explain the perceptual advantage for familiar face recognition. *Cereb Cortex*.
9. Andrews TJ, Ewbank MP (2004) Distinct representations for facial identity and changeable aspects of faces in the human temporal lobe. *Neuroimage* 23: 905-913.
10. Xu X, Yue X, Lescroart MD, Biederman I, Kim JG (2009) Adaptation in the fusiform face area (FFA): Image or person? *Vision Res* 49: 2800-2807.

11. Rhodes G, Jaquet E (2011) Aftereffects reveal that adaptive face-coding mechanisms are selective for race and sex. In: Jr. RAA, Ambady N, Nakayama K, Shimojo S, editors. The science of social vision. New York City: Oxford University Press. pp. 347-362.
12. Ferrario VF, Sforza C, Pizzini G, Vogel G, Miani A (1993) Sexual dimorphism in the human face assessed by euclidean distance matrix analysis. *J Anat* 183: 593-600.
13. Farkas LG, Katic MJ, Forrest CR (2005) International anthropometric study of facial morphology in various ethnic groups/races. *J Craniofac Surg* 16: 615-646.
14. Kriegeskorte N, Goebel R, Bandettini P (2006) Information-based functional brain mapping. *Proc Natl Acad Sci USA* 103: 3863-3868.
15. Weil RS, Rees G (2010) Decoding the neural correlates of consciousness. *Curr Opin Neurol* 23: 649-655.
16. Kaul C, Rees G, Ishai A (2011) The gender of face stimuli is represented in multiple regions in the human brain. *Front Hum Neurosci* 4.
17. Ratner KG, Kaul C, Van Bavel JJ (2012) Is race erased? Decoding race from patterns of neural activity when skin color is not diagnostic of group boundaries. *Soc Cogn Affect Neurosci*.
18. Brosch T, Bar-David E, Phelps EA (2012) Implicit race bias decreases the similarity of the neural representations of Black and White faces. *Psychol Sci*.
19. Natu V, Raboy D, O'Toole AJ (2011) Neural correlates of own- and other-race face perception: Spatial and temporal response differences. *Neuroimage* 54: 2547-2555.
20. Dale AM (1999) Optimal experimental design for event-related fMRI. *Hum Brain Mapp* 8: 109-114.

21. Henson R, Rugg MD, Friston KJ (2001) The choice of basis functions in event-related fMRI. *Neuroimage* 13: S149-S149.
22. Grinband J, Wager TD, Lindquist M, Ferrera VP, Hirsch J (2008) Detection of time-varying signals in event-related fMRI designs. *Neuroimage* 43: 509-520.
23. Slotnick SD, Moo LR, Segal JB, Hart J, Jr. (2003) Distinct prefrontal cortex activity associated with item memory and source memory for visual shapes. *Brain Res Cogn Brain Res* 17: 75-82.
24. Misaki M, Kim Y, Bandettini PA, Kriegeskorte N (2010) Comparison of multivariate classifiers and response normalizations for pattern-information fMRI. *Neuroimage* 53: 103-118.
25. Gauthier I, Tarr MJ, Moylan J, Skudlarski P, Gore JC, et al. (2000) The fusiform "face area" is part of a network that processes faces at the individual level. *J Cogn Neurosci* 12: 495-504.
26. Puce A, Allison T, Bentin S, Gore JC, McCarthy G (1998) Temporal cortex activation in humans viewing eye and mouth movements. *J Neurosci* 18: 2188-2199.
27. Epstein R, Kanwisher N (1998) A cortical representation of the local visual environment. *Nature* 392: 598-601.
28. Malach R, Reppas JB, Benson RR, Kwong KK, Jiang H, et al. (1995) Object-related activity revealed by functional magnetic resonance imaging in human occipital cortex. *Proc Natl Acad Sci USA* 92: 8135-8139.
29. Cohen J (1988) *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

30. Op de Beeck HP, Brants M, Baeck A, Wagemans J (2010) Distributed subordinate specificity for bodies, faces, and buildings in human ventral visual cortex. *Neuroimage* 49: 3414-3425.
31. Haxby JV, Gobbini MI, Furey ML, Ishai A, Schouten JL, et al. (2001) Distributed and overlapping representations of faces and objects in ventral temporal cortex. *Science* 293: 2425-2430.
32. Dougherty RF, Koch VM, Brewer AA, Fischer B, Modersitzki J, et al. (2003) Visual field representations and locations of visual areas V1/2/3 in human visual cortex. *J Vis* 3: 586-598.
33. Engel SA, Rumelhart DE, Wandell BA, Lee AT, Glover GH, et al. (1994) fMRI of human visual cortex. *Nature* 369: 525.
34. Rhodes G, Leopold DA (2011) Adaptive norm-based coding of face identity. In: Calder AJ, Rhodes G, Johnson MH, Haxby JV, editors. *The Oxford handbook of face perception* New York City: Oxford University Press. pp. 263-286
35. van den Hurk J, Gentile F, Jansma BM (2011) What's behind a face: Person context coding in fusiform face area as revealed by multivoxel pattern analysis. *Cereb Cortex* 21: 2893-2899.
36. Wong C, Gallate J (2012) The function of the anterior temporal lobe: A review of the empirical evidence. *Brain Res* 1449: 94-116.
37. Contreras JM, Banaji MR, Mitchell JP (2012) Dissociable neural correlates of stereotypes and other forms of semantic knowledge. *Soc Cogn Affect Neurosci* 7: 764-770.
38. Quadflieg S, Flannigan N, Waiter GD, Rossion B, Wig GS, et al. (2011) Stereotype-based modulation of person perception. *Neuroimage* 57: 549-557.

39. Masson MEJ, Loftus GR (2003) Using confidence intervals for graphically based data interpretation. *Can J Exp Psychol* 57: 203-220.

Cuadro 1. Respuestas y latencias de respuesta de la población participante en la tarea de categorización.

	Precisión		Latencias de respuesta	
	Sexo	Raza	Sexo	Raza
Hombres blancos	0,95 ^{ac} (0,04)	0.98 ^b (0,02)	706 ^{acd} (65)	679 ^b (64)
Mujeres blancas	0,94 ^c (0,05)	0,97 ^{ad} (0,03)	722 ^{cd} (86)	692 ^{ab} (78)
Hombres negros	0,96 ^{acd} (0,04)	0,98 ^b (0,03)	700 ^{ac} (60)	650 ^e (65)
Mujeres negras	0,94 ^c (0,05)	0,98 ^{bd} (0,02)	722 ^d (67)	661 ^f (55)

Nota: Desviaciones medias y, en paréntesis, estándares. Los datos de Precisión se muestran en proporciones de categorizaciones correctas. Los tiempos de respuesta se expresan en milisegundos. Para cada variable dependiente, las medias que comparten un superíndice no difieren significativamente en $p < ,05$, tal cual fueron calculadas en las pruebas t de muestras pareadas.

Cuadro 2. Regiones del cerebro identificadas en contrastes de efectos aleatorios en todo el cerebro en la tarea de categorización, $p < ,05$, corregidas para comparaciones múltiples.

Rostros > [cuerpos + escenas + objetos + objetos entremezclados]

Región	x	y	z	Participantes
Giro fusiforme (FFA)	38,8	-44,3	-18,5	16
	-37,1	-47,6	-17,3	16
Giro occipital inferior (OFA)	33,3	-76,7	-8,9	14
	-33,1	-77,0	-6,55	11
Surco temporal superior (STS)	49,8	-43,4	13,9	16
	-49,8	-52,8	21,3	9

Escenas > Objetos

Región	x	y	z	Participantes
Giro parahipocampal (PPA)	23,4	-39,5	-7,4	16
	-24,1	-42,9	-4,8	16

Objetos > Objetos entremezclados

Región	X	y	z	Participantes
Corteza occipital lateral (LOC)	40,5	-66,3	-5,0	8
	-42,0	-63,7	-6,7	10

Nota: De izquierda a derecha, las columnas listan los nombres de las regiones obtenidas de contrastes de efectos aleatorios en todo el cerebro, las coordenadas estereotaxicas medias, del Montreal Neurological Institute [Instituto Neurológico de Montreal], de sus vóxeles pico entre todas las personas participantes, y la cantidad de participantes ($N = 17$) en quienes estas regiones del cerebro se identificaron en $p < ,05$, corregidas para comparaciones múltiples. FFA = área fusiforme de la cara, OFA = área facial occipital, STS = surco temporal superior, PPA = área del lugar parahipocampal, LOC = complejo occipital lateral.

Cuadro 3. Regiones del cerebro identificadas en contrastes de efectos aleatorios en todo el cerebro en la tarea de localizar rostros, $p < ,05$, corregidas para comparaciones múltiples, **clasificados** en orden descendente por la estadística t de su vóxel pico (t).

Hombres > Mujeres

No se identificaron regiones del cerebro.

Mujeres > Hombres

Región	x	y	z	k	t
Cerebelo	0	-61	-16	204	5,18
Giro frontal inferior	-28	15	-20	231	4,71
Giro frontal superior	20	61	-6	89	4,50
Giro cingular	4	-29	34	75	3,99

Blancos > Negros

Región	x	y	z	k	t
Giro frontal medio	-16	33	-8	437	7,73
	14	35	-12	162	6,06
Cerebelo	-12	-57	-32	82	5,08
Giro cingular	-20	-31	44	112	4,83
Precúneo	-16	-45	22	105	4,12

Negros > Blancos

Región	x	y	z	k	t
Sustancia blanca	-18	-81	2	126	5,36
Giro supramarginal	48	-53	34	142	4,60

Nota: De izquierda a derecha, las columnas listan los nombres de las regiones obtenidas de contrastes de efectos aleatorios en todo el cerebro, las coordenadas esterotáxicas, de Montreal Neurological Institute, de sus vóxeles pico, su tamaño en cantidad de vóxeles (k), y la estadística t de su vóxel pico (t).

Cuadro 4. Regiones del cerebro identificadas en contrastes de efectos aleatorios en todo el cerebro de los análisis multivariantes de reflector, $p < ,05$, corregidas para comparaciones múltiples.

Región	Mismo sexo > Diferente categoría				
	x	y	z	k	t
Cerebelo	18	-29	-26	77	5,20

Misma raza > Diferente categoría

No se identificaron regiones del cerebro.

Nota: De izquierda a derecha, las columnas listan los nombres de las regiones obtenidas de contrastes de efectos aleatorios en todo el cerebro, las coordenadas esterotáxicas, de Montreal Neurological Institute, de sus vóxeles pico, su tamaño en cantidad de vóxeles (k), y su estimación del parámetro ponderado medio (t).

LEYENDA DE LA FIGURA

Figura 1. Los gráficos de barras muestran diferencias de correlación medias expresadas en puntajes z (*mismo sexo > diferente categoría* en rojo, *misma raza > diferente categoría* en azul). Un asterisco denota una diferencia de correlación que es confiablemente mayor a cero para toda la población participante, $p < ,05$. Las barras de errores representan el 95% de los intervalos de confianza en comparaciones para el mismo sujeto [39]. R y L como las primeras letras del acrónimo de una región de interés (ROI) denotan el hemisferio cerebral en el cual está localizada ROI. FFA = área fusiforme de la cara, OFA = área facial occipital, STS = surco temporal superior, PPA = área del lugar parahipocampal, LOC = complejo lateral occipital.