

## El reconocimiento facial emocional en el síndrome de Down: modelando desde una perspectiva conexionista

*Down syndrome and emotional facial recognition  
from a connectionist point of view*

Guadalupe E. Morales-Martínez

Ernesto O. López-Ramírez

Tel. (+52) 81 8333 7859

correo electrónico (*e-mail*): elopez42@att.net.mx

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Psicología, Laboratorio de Ciencia Cognitiva.

Dr. Carlos Canseco núm. 110 y Dr. Eduardo Aguirre Pequeño, Col. Mitras Centro,  
Monterrey, Nuevo León, C.P. 64460.

MÉXICO.

Artículo recibido: 20 de julio de 2011; aceptado: 4 de marzo de 2012.

### RESUMEN

La evidencia señala que las personas con síndrome de Down (SD) presentan dificultades para la identificación de las emociones faciales negativas y procesan diferencialmente la emoción positiva, especialmente la de tipo familiar. Para determinar las implicaciones de estos hallazgos en los modelos generales de reconocimiento facial, se exploró la posibilidad de que mecanismos neurocomputacionales puedan sin supervisión extraer las propiedades faciales que agrupan a la emoción humana en dos valencias. Después un sistema conexionista fue implementado para observar si el daño controlado a una amígdala simulada afecta los mecanismos de reconocimiento facial. Los resultados sugieren que la información negativa causa mecanismos de reconocimiento facial más estables en un procesamiento de abajo-arriba. Sin embargo, su categorización es menos correcta en un procesamiento de arriba-abajo. El daño al procesamiento negativo de la amígdala simulada no produjo dificultades en el reconocimiento de la identidad facial positiva y neutra. Las implicaciones de estos resultados son discutidas en el presente artículo.

### ABSTRACT

People with Down syndrome (DS) have difficulties to identify negative emotional faces and they process positive emotion in a different way, especially positive faces that are familiar to them. In order to determine implications of these findings through general models of face recognition, it was first explored the possibility that low level neurocomputational mechanisms can extract the facial properties in two emotional dimensions or valences of human emotion, without supervision. After, a connectionist system was implemented to determine if the controlled damage in a simulated amygdala affects the facial emotional recognition mechanisms. Results suggest that the negative information causes more stable recognition mechanisms in a down-up processing. However, categorization of negative information is less correct than positive, considering a top-down processing. The damage to the negative processing capacities of the simulated amygdala did not produce difficulties in positive and neutral facial identity recognition. Theoretical implications for these results are discussed in this paper.

**Palabras clave:** síndrome de Down, estilo de procesamiento facial emocional, simulación computacional.

**Key words:** Down syndrome, emotional facial processing style, connectionist computer simulations.

Una preocupación central en el estudio de la emoción humana es la determinación de la relación entre condiciones atípicas del estado cognitivo (discapacidad intelectual) y el procesamiento de la información emocional. Sin embargo, pocos estudios han explorado el factor emocional desde un punto de vista del procesamiento humano de la información (PHI) en poblaciones con discapacidad intelectual. Por ejemplo, en el caso del síndrome de Down (SD) solo se han llevado a cabo un pequeño grupo de investigaciones para explorar la habilidad del reconocimiento facial emocional. En general, aunque los hallazgos de dichos trabajos señalan la existencia de un déficit en el reconocimiento de la expresión facial emocional negativa (e.g., Pitcairn y Wishart, 2000; Turk y Cornish, 1998; Wishart y Pitcairn, 2000; Annaz, Karmiloff-Smith, Johnson y Thomas, 2009; Porter, Coltheart y Langdon, 2007; Turk y Cornish, 1998; Wishart et al., 2007), no proporcionan información sobre los mecanismos cognitivo-emocionales que subyacen a dichas dificultades.

Con respecto a lo anterior, Morales y López (2005, 2006), Morales (2010) y Morales, López y Hedlefs (2010) diseñaron una serie de estudios cognitivos utilizando instrumentos de medición a nivel de procesamiento emocional automático pre-atentivo, y sus hallazgos sugieren que no todos los miembros de la población con SD presentan dificultades en el reconocimiento emocional negativo y que además el reconocimiento emocional facial positivo en esta población sigue patrones de comportamiento cognitivo muy diferentes al de la población típica. Lo anterior abre la posibilidad de reconsiderar el término de déficit e integrar este comportamiento en un esquema más global (estilo afectivo) que permita enfatizar no solo la forma de procesar la información negativa que es característica en el síndrome de Down, sino que también permita establecer la relación entre este tipo de procesamiento y el estilo de procesar la información positiva observado en esta condición genética. Lo anterior implica que es necesario considerar la posibilidad de que exista una forma de procesamiento emocional diferente en un grupo particular de nuestra especie (Conrad, Schmidt, Niccols, Polak, Riniolo, y Burack, 2007; Morales, 2010).

Aunque los avances anteriores son relevantes en el estudio del reconocimiento facial emocional del SD, no había sido posible integrar dichos hallazgos dentro de los modelos generales del reconocimiento facial, ni

se había detallado la relevancia teórica del estilo de procesamiento emocional del SD en la teoría del reconocimiento facial humano. Esto en parte se debió a que aunque el factor emocional era mencionado en algunos modelos de reconocimiento facial, su rol cognitivo no estaba especificado en el proceso de reconocer caras. Esto puede ser observado en los diferentes modelos de reconocimiento facial que van desde aquellos que son seriales (e.g., véase Bruce y Young, 1986) hasta aquellos que proponen rutas neurales y cognitivas duales (e.g., véase Bauer, 1984, 1986; Ellis y Young, 1990).

De especial interés es el modelo de Breen, Caine y Coltheart (2000), el cual postula que todas las características del sistema de reconocimiento facial pueden ser explicadas por una ruta única neural ventral asociada al reconocimiento facial. Aún y cuando la ruta neural que se propone para el reconocimiento facial es de un solo canal (ruta ventral), este modelo propone una ruta cognitiva dual de reconocimiento facial.

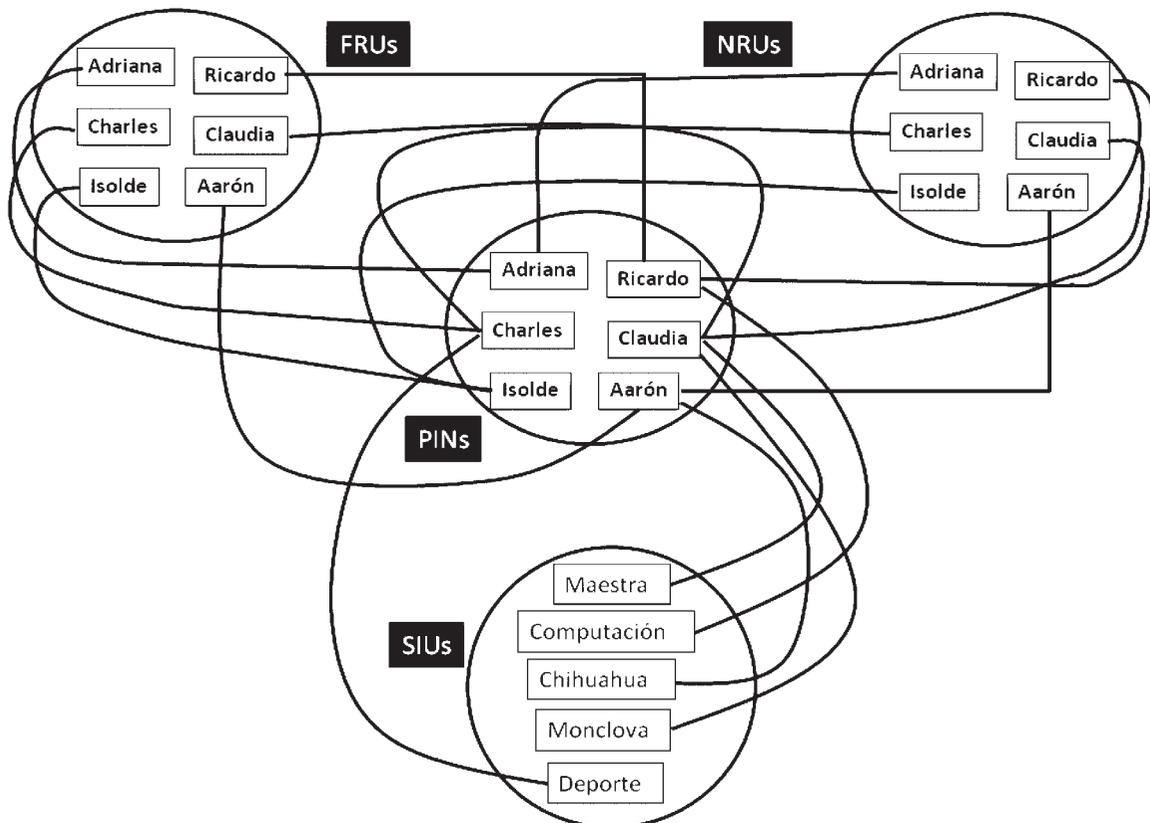
El modelo de Breen et al. (2000), a diferencia de otros, demanda especificar los mecanismos cognitivo-emocionales involucrados en el reconocimiento facial. Este modelo propone que la información emocional se procesa en paralelo a la identificación de una persona y no determina los procesos de reconocimiento facial. A este respecto, varias implicaciones pueden derivarse de los déficits en el procesamiento de información emocional en el módulo emocional de Breen et al. Por ejemplo, en el caso de la población con SD las alteraciones en este sistema pueden manifestarse en asociaciones afectivas no usuales a individuos con los que se identifican o tienen familiaridad. Dado lo anterior, dicho sistema es de relevancia porque puede llevar a especificar de forma precisa el rol que el sistema emocional tiene en el proceso de reconocimiento facial. En particular, la naturaleza de la representación emocional de una cara puede ser explorada en función del proceso de identidad. Estas representaciones emocionales pueden ser hipotetizadas desde una perspectiva neurocomputacional.

Los modelos neurocomputacionales de reconocimiento facial actuales se dividen en dos grandes grupos. Los primeros modelos enfatizan representaciones distribuidas, en donde los procesos cognitivos que participan en el reconocimiento facial son representados por patrones de activación de una red de unidades neurales interconectadas (véase Farah, O'Reilly y Vecera, 1993).

Aquí, cada módulo de procesamiento de información facial genera patrones de neuroactividad similar a la de un atractor. Por otra parte, están los modelos de representación localizada, en dónde cada unidad neural de procesamiento de información facial representa una característica específica del módulo de reconocimiento facial al que se refiere.

De relevancia a la presente investigación es el modelo localista de reconocimiento facial de interactividad competitiva (IAC, en inglés) de Burton, Bruce y Johnston (1990) el cual se ilustra en la figura 1. Este emula propiedades neurocomputacionales del reconocimiento facial en cerebros humanos sin daño ni deterioro, aunque también ha mostrado su utilidad en el análisis de condiciones como la prosopagnosia asociativa y aperceptiva por lo que tiene un rango más amplio de correctitud descriptiva que otros modelos de su clase.

En este modelo, cada módulo de procesamiento (FRU, PIN, NRU y SIU) se compone de grupos de unidades neurales o albercas de unidades que se inhiben mutuamente y compiten contra las demás unidades para lograr su propia activación. Por otra parte, las conexiones entre unidades de diferentes módulos son de carácter excitatorio. El flujo de información es en cascada, en donde la activación a la unidad FRU produce activación en el módulo PIN, el cual a su vez activa aspectos semánticos relacionados a cada unidad de este módulo así como un nombre asociado a dicha activación neural. Este tipo de modelos conexionista de interactividad competitiva tiene su origen a inicios de los 80 (McClelland y Rumelhart, 1981, 1988) y en el presente contexto son de interés dado que dicho modelo IAC puede tener actividad bajo los umbrales de respuesta de las unidades neurales que distinguen las formas de procesamiento automático del controlado (Burton, Young, Bruce, Johnston, y Ellis, 1991).



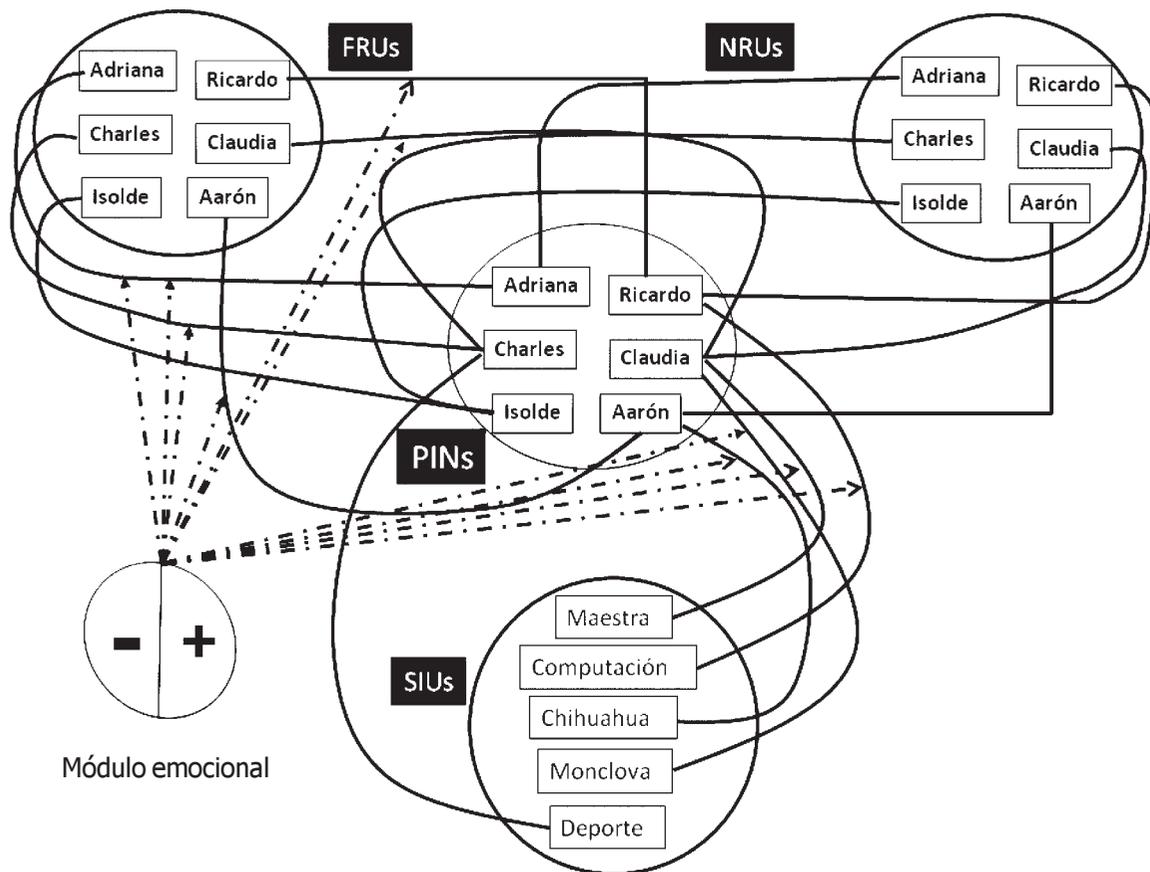
**Fig. 1.** Se ilustra los diferentes módulos del modelo IAC de Burton et al. (1990). Se mantiene la abreviación en inglés de cada módulo: FRU (*Facial Recognition Units*), PIN (*Person identity Nodes*), NRU (*Name Recognition Units*) y SIU (*Semantic Information Units*). Las líneas entre nodos representan conectividad sináptica entre unidades de procesamiento.

Además, el modelo IAC puede ser aumentado y modificado para simular las dificultades en el reconocimiento facial negativo en personas con SD. Aquí, la implementación de una amígdala funcional y disfuncional (véase figura 2) puede permitir determinar la plausibilidad neurocomputacional de explicaciones cognitivas al déficit mencionado en personas con SD (modelo IACSD). Este sistema emocional debe ser capaz de influir en patrones de reconocimiento facial que emulen efectos de facilitación afectiva en poblaciones con SD y población típica.

En el caso de la emulación de conducta emocional asociada al SD, el sistema afectivo presenta la opción de analizar diferentes formas de daño al sistema emocional de negatividad. Por ejemplo, ruido, daño físico, umbrales

de respuesta atípica en las unidades de procesamiento, etc. Sin embargo, hasta el momento se desconoce cuáles de estos daños permitiría simular de mejor forma las dificultades en el reconocimiento facial negativo presentes en el SD.

Finalmente, hay que hacer notar que para la formación de identidad facial es necesario activar campos semánticos relacionados a dicha identidad. De acuerdo al modelo IACSD, esto implica también la formación de significados emocionales asociados a la identidad de una persona. En el caso de las personas con SD dicha significación implicaría una forma muy diferente a la de un miembro de la población típica, dada la forma particular de su módulo de procesamiento afectivo. Aquí hay que hacer notar que teóricamente no se ha considerado la posibilidad



**Fig. 2.** Modelo cognitivo conexionista de reconocimiento facial de interacción competitiva (IAC) a implementar en la presente investigación para integrar el comportamiento de reconocimiento facial emocional en personas con síndrome de Down (IACSD). La amígdala simulada con unidades especializadas para discriminar caras positivas (+) y negativas (-) provee información de valencia emocional a través de conectividad sináptica (líneas punteadas) a unidades de identidad y procesamiento semántico emocional superior.

de que la información facial emocional sea captada en rutas de reconocimiento facial de forma implícita antes de las unidades FRU y que después ésta sea utilizada como un factor de reconocimiento emocional. Esto es, el factor de reconocimiento facial emocional estaría compuesto de información implícita, de información facial emocional obtenida en procesamiento periférico inicial (procesamiento abajo-arriba) así como de información emocional provista en el módulo SIU (procesamiento arriba-abajo).

Para determinar, la plausibilidad neurocomputacional de estas observaciones se implementó un estudio conexionista para señalar el impacto que tienen las dificultades de reconocimiento emocional negativo en el SD dentro de los modelos teóricos actuales del reconocimiento facial humano.

## MÉTODO

Se implementó el sistema de reconocimiento facial emocional IACSD (Inter Acción por Competencia en síndrome de Down), el cual está basado en postulados centrales del modelo cognitivo de la ruta dual de reconocimiento facial propuesto por Breen et al. (2000).

Se llevaron a cabo dos fases. La primera se centra en la elaboración de una red neural no supervisada que pretendía ver si la información facial emocional podía ser clasificada en dos valencias emocionales (positivo/negativo) usando mecanismos neurocomputacionales de interacción competitiva sobre la información emocional implícita en una cara. En la segunda fase, se especificó el efecto neurocomputacional de un sistema amigdalino disfuncional en el reconocimiento facial.

### Primera fase: construcción de la amígdala

El objetivo de esta primera fase fue determinar si los rasgos faciales emocionales podían ser agrupados naturalmente (sin supervisión) por un sistema neurocomputacional de procesamiento de abajo hacia arriba, de aprendizaje competitivo (positivos vs. negativos). La primera capa, esto es la retina, fue diseñada para procesar estímulos faciales que posteriormente son clasificados por dos neuronas en una segunda capa de procesamiento, las cuales competían entre ellas para agrupar las características faciales en una clase de información: positiva o negativa.

La retina de esta primera red neural fue sometida a la presentación repetida de 12 imágenes faciales emocionales de 48 (ancho) por 64 (alto) píxeles demandando 3 072 unidades de procesamiento. Estas imágenes faciales, fueron en realidad las *eigencaras* de caras emocionales simuladas de personas típicas y con SD utilizadas en estudios de reconocimiento facial emocional en jóvenes con SD (Morales, 2010; Morales y López (2010). La razón de esto, es que en términos de modelos de reconocimiento facial, los modelos de Análisis Principal de Componentes de caras (en inglés PCA; véase Diamantaras y Kung, 1996; Turk y Pentland, 1991) o los modelos Gabor (Du y Ward, 2009) ofrecen mejores resultados de reconocimiento usando este preprocesamiento sobre las caras. Dado que el modelo cognitivo de Breen et al. (2000) que se considera en el presente estudio usa un sistema de retina PCA, entonces se procedió a un análisis PCA sobre las *eigencaras*. Todas las caras fueron centradas con respecto a la localización de los ojos.

En las capas de procesamiento competitivo las neuronas compiten por activarse y mantienen conexiones inhibitorias entre ellas. Cuando una unidad gana la competencia, ésta será, entonces, la única neurona activada en la capa de procesamiento de competencia (ganador toma todo). Cuando una neurona gana se toma porción de valores de asociación de sus conexiones a la retina y se distribuye sobre los pesos de asociación de las conexiones activas de acuerdo a la siguiente regla:

$$\Delta W_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{si la unidad } j \text{ no gana sobre el estímulo } k \\ g \frac{C_{ik}}{n_k} - gW_{ij} & \text{si la unidad } j \text{ gana sobre el estímulo } k \end{cases}$$

Donde  $C_{jk}$  es igual a 1 si el patrón del estímulo  $S_k$  activa la unidad  $i$  en la capa inferior y cero de otra forma. Por su parte  $n_k$  es el número de unidades activas dado el patrón  $S_k$  de tal forma que  $n_k = \sum_j C_{jk}$ . El peso de asociación de una unidad inferior  $i$  a una superior  $j$  se denomina  $W_{ij}$  y la suma de estos pesos asignados a una unidad  $j$  dada su conectividad a la capa inferior suman 1 de tal forma que  $\sum_i ij = 1$ .

Finalmente, la red neural buscó converger a una solución, en la que un estado estable de activación de la red representará una agrupación de características faciales emocionales. Dicho estado de convergencia

fue caracterizado, por el hecho de que las sumatorias de las diferencias de los pesos de asociación con respecto a los vectores de los patrones de eigencaras fueron minimizadas.

### Instrumentos y materiales de la primera fase

Se obtuvieron 12 eigencaras (6 caras positivas y 6 caras negativas) tanto para personas típicas como para personas con SD. La figura 3 muestran solo el ejemplo para una valencia de de la población con SD. Para una más amplia descripción véase Morales (2010).

El primer paso en la obtención de las eigencaras fue considerar un conjunto  $S$  de estímulos faciales  $M$ . En el caso de este primer estudio  $M = 12$  (6 caras positivas y 6 caras negativas). Cada imagen fue transformada en un vector  $N$  y fue incluida en el conjunto  $S$ .

$$S = \{\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \dots, \Gamma_M\}$$

Una vez obtenido este conjunto se procedió a tener la imagen facial promedio  $\Psi$ :

$$\Psi = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M \Gamma_n$$

Después se encontró la diferencia  $\Phi$  entre cada imagen facial y la cara promedio:

$$\Phi_i = \Gamma_i - \Psi$$

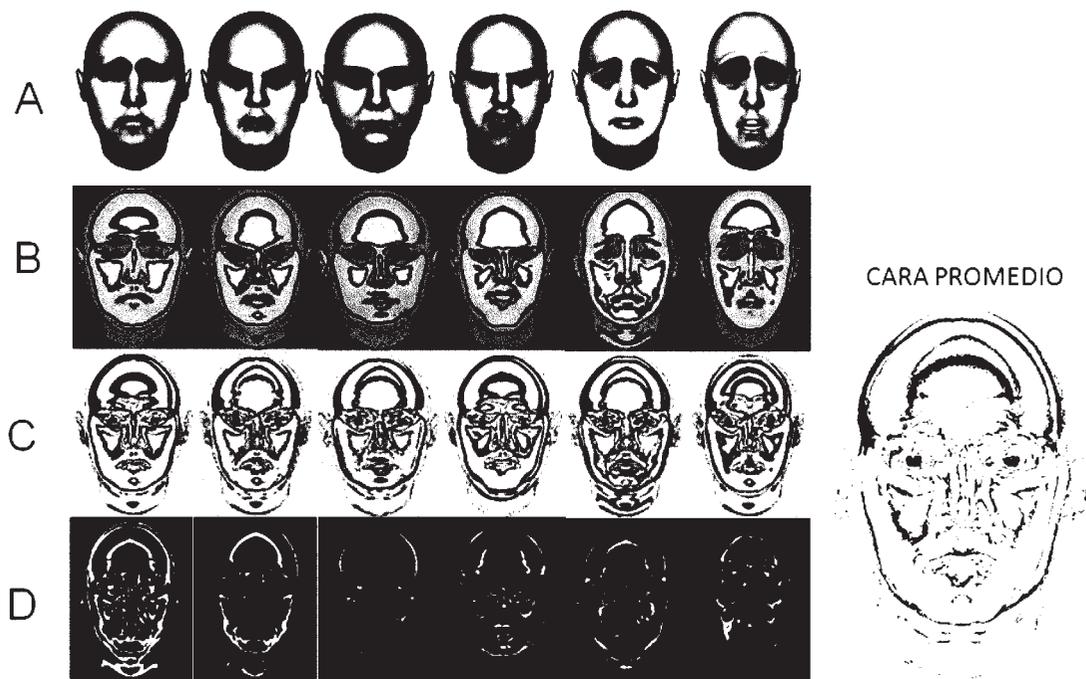
Posteriormente se buscó un conjunto  $M$  de vectores orto normales,  $u_n$ , que mejor describiera la distribución de los datos el  $k^{\text{th}}$  vector,  $u_k$ , de tal forma que:

$$\lambda_k = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M (u_k^T \Phi_n)^2$$

Es un máximo tal que:

$$u_l^T u_k = \delta_{lk} = \begin{cases} 1 & \text{si } l = k \\ 0 & \text{de otra forma} \end{cases}$$

donde  $u_k$  y  $\lambda_k$  son los eigenvectores y eigenvalores de la futura matriz de covarianza  $C$ .



**Fig. 3.** Se ilustra la extracción de las eigencaras negativas para las caras originales simuladas con rasgos SD (A) en caras normalizadas (B). Para mejor visualización se ilustran las eigencaras en escalas de grises (C), pero son las eigencaras en negro (D) las utilizadas en el modelo de red neural.

Dicha matriz de covarianza  $C$  se obtuvo por:

$$C = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M \Phi_n \Phi_n^T = AA^T$$

$$A = \{\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \dots, \Phi_n\}$$

donde  $A^T$ :

$$L_{mn} = \Phi_m \Phi_n$$

De esta forma una vez que se encontraron los eigenvectores  $v_p$   $u_l$  entonces:

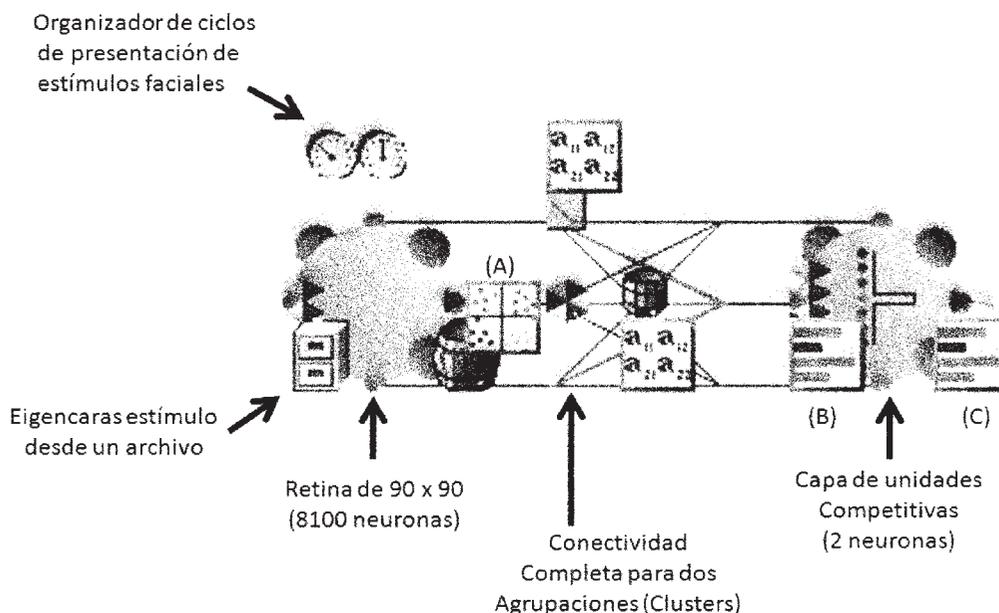
$$u_l = \sum_{k=1}^M v_{lk} \Phi_k \quad l = 1, \dots, M$$

La figura 3 ilustra la cara promedio para un conjunto  $M$ , así como las eigencaras en escala de grises por aspectos didácticos. Dichas caras fueron generadas a través de la modificación y adaptación de una utilidad software  $C$  de uso libre para MATLAB 8.b. (Serrano, 2009) (véase también Eleyan y Demirl, 2007). Estas modificaciones se relacionaron a un defecto en la programación computacional original por parte de Serrano (2009) sobre las escalas de grises sobre las eigencaras obtenidas y la adaptación se relacionó a la modificación de programación para que

podiera admitir los estímulos faciales de la presente investigación.

Una vez obtenidas las eigencaras, para este primer estudio neurocomputacional se formaron grupos de estímulos eigenfaciales de entrenamiento para la red neural. El conjunto de caras con rasgos de SD consistió de 6 eigencaras positivas y 6 negativas, de igual forma para el grupo de caras con rasgos típicos. Hay que señalar que también se obtuvieron eigencaras neutras para ambos grupos. Dicho conjunto será usado en la segunda fase del estudio.

El sistema de aprendizaje de interacción competitiva (en inglés IAC) utilizado en la presente red neural estuvo basado en el modelo conexionista de extracción de características perceptuales propuesto por Rumelhart y Zipser en 1986. La figura 4 muestra la arquitectura *NeuroSolutions* para la simulación de la primera fase, en donde la opción (A) se refiere al sistema de visualización (incluyendo el barril grande y el pequeño) del espacio bidimensional de eigenvectores de las caras y los pesos. Por su parte (B) y (C) permiten observar la actividad de entrada y salida de la capa de neuronas competitivas tanto en la fase de entrenamiento como la del periodo de prueba. Dichas utilidades de visualización permitieron mostrar de forma gráfica los resultados posteriormente.



**Fig. 4.** Se ilustra la arquitectura neurocomputacional básica de la primera fase usando el sistema *NeuroSolutions*. Al sistema aprende a discriminar dos tipos de eigencaras emocionales (positivas y negativas) que se le presentan a una retina simulada a través de modificación sináptica entre una de las dos neuronas de la capa de neuronas competitivas y la retina. Cada neurona competidora aprende a responder a solo un tipo de valencia.

## Segunda fase: implementación del sistema de reconocimiento facial emocional IAC en el síndrome de Down

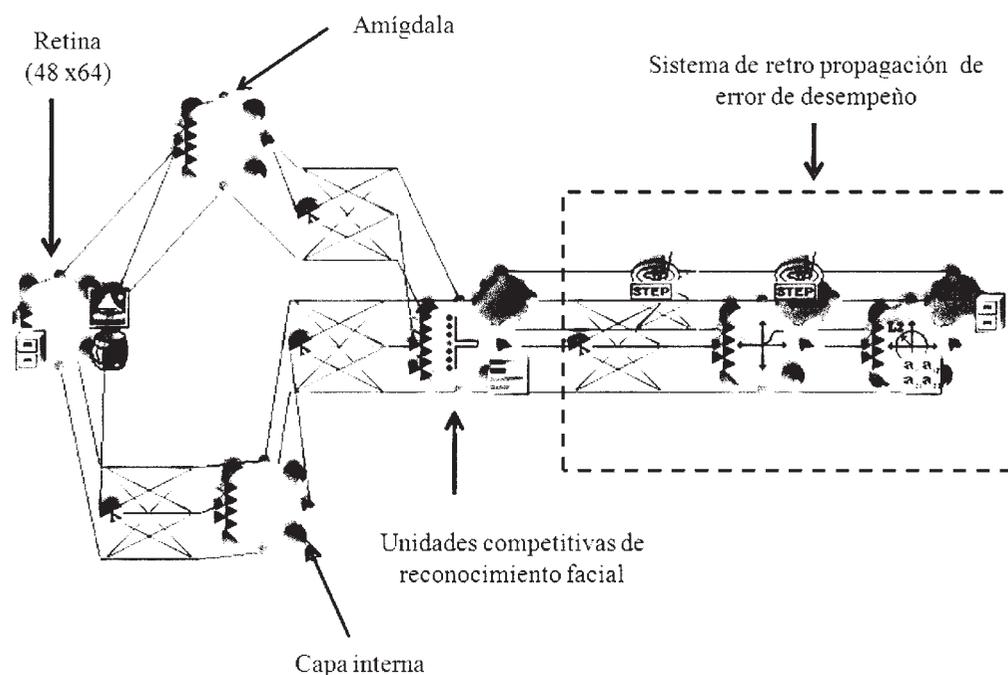
En esta fase se implementó y modificó una subsección del modelo de interacción competitiva para el reconocimiento facial de Breen et al. (2000). De manera específica, la red neural de interacción competitiva diseñada anteriormente, una vez que había sido entrenada en el reconocimiento de eigencaras emocionales, se agregó como un módulo más en el modelo dual de Breen et al. con el propósito de observar el efecto de la influencia del factor emocional (en deterioro o típico) en el reconocimiento facial emocional.

### PROCEDIMIENTO

La red neural con dos neuronas competitivas y la retina de 3 072 neuronas será llamada de aquí en adelante la *amígdala* del sistema. Un marcado énfasis se hace en distinguir ésta sobre simplificación de la estructura y del funcionamiento de la estructura neuroanatómica en el

cerebro humano (e.g., Aggleton, 2000). El objetivo fue más bien emular la función de clasificación de valencia emocional de estímulos. En particular, a este sistema neurocomputacional se le presentaron 20 000 veces cada estímulo facial usado en el primer estudio así como eigencaras neutras al azar. Los pesos de asociación fueron aleatorizados en cada sesión de aprendizaje y estos se reanudaban intencionalmente si el sistema amígdala caía en un mínimo local. Un parámetro global de aprendizaje de cambio de peso de asociación de aprendizaje fue establecido tal que  $\lambda = 0.009$  producía cambios de asociación producto momento en la neurona ganadora siguiendo una regla Hebb de aprendizaje.

Dado que el sistema amigdalino no logró la clasificación de todas las caras en las valencias correctas en la modalidad de no supervisada, se utilizó un segundo diseño que guió a dicho sistema a un mejor rendimiento. Esta modificación es conocida como ajuste apropiado de pesos de asociación por contrapropagación de error (en inglés *backpropagation*; e.g., véase Rumelhart, McClelland, y PDP Research Group, 1986). La arquitectura final IACSD puede ser observada en la figura 5.



**Fig. 5.** Cuando se le dio retroalimentación sobre su desempeño al reconocer la identidad de las caras emocionales (a través del sistema de retro alimentación: líneas punteadas a la derecha). El sistema IACSD identificó correctamente la identidad a través de unidades neurales de identidad (centro) integrando para este propósito la información de valencia de la amígdala simulada (parte superior izquierda).

Nótese de la figura 5 que la capa interna equivale a las representaciones faciales FRU del modelo de Breen et al. (2000). Al igual que en el primera fase del estudio, se utilizó la presentación de 20 000 ciclos de este conjunto de estímulos. El mismo parámetro global de aprendizaje tipo Hebb sobre las neuronas ganadoras fue utilizado  $\lambda = 0.009$ . La obtención de la capa interna y las unidades faciales FRU se logró creando una red competitiva por cada unidad FRU. Por otra parte las unidades PIN se construyeron con una sola capa de unidades competitivas que reciben alimentación de las unidades FRU.

**RESULTADOS**

Los resultados obtenidos del entrenamiento y prueba de la red neural no supervisada para el reconocimiento facial emocional de ambas poblaciones de caras del estudio pueden ser observados en la tabla 1. Nótese que no se pudo obtener un desempeño perfecto. Sin embargo, el sistema de competencia pudo en varias ocasiones discriminar algunas caras negativas de las positivas solo con la información implícita facial. Esto significa que la posibilidad de un procesamiento facial

discriminativo de abajo hacia arriba en el reconocimiento facial emocional es neurocomputacionalmente posible.

Es importante señalar que el sistema amigdalino cae rápidamente en un estado local mínimo equivocado (solo una neurona responde), por lo que en la etapa de entrenamiento hubo que desestabilizar a la red neural aleatorizando pesos de conectividad para que saliera de este estancamiento. Mientras que en el caso de las Eigencaras de la población típica esto funciona casi de inmediato, en el caso de las eigencaras de SD cuesta de cinco a seis veces más intentos lograr un estado global mínimo apropiado. La tabla 2 muestra los resultados del sistema amigdalino cuando se trato de forzarle a un mejor desempeño por medio de contra propagación del error. Aquí se observa una notable mejoría en el desempeño del reconocimiento emocional de las caras negativas (perfecta clasificación).

Del resultado anterior es importante considerar que en un espacio vectorial en donde diferentes clases de información no comparten características, estas serán agrupadas en conjuntos de puntos bien definidos en un espacio euclideano. Sin embargo, en el caso de las caras humanas, estas se tipifican por compartir rasgos faciales (por ejemplo, distancia entre ojos, posición ocular nasal y de la boca), por lo que de esta forma no es de esperarse agrupaciones vectoriales sobre todo

**Tabla 1.** Se describe el desempeño de la red neural en el reconocimiento facial emocional. Se especifica a cuantas eigencaras negativas (-) o positivas (+) de las 12 posibles, la neurona 1 y la neurona 0 responden en ambas poblaciones de caras.

APRENDIZAJE NO SUPERVISADO				
Neurona	Población típica		Síndrome de Down	
	1	0	1	0
Valencia	neg.	pos.	neg.	pos.
1	-		1	+
2	-		2	+
3	-		3	+
4	-		4	+
5	-		5	+
6	-		6	+
7		+	7	-
8	+		8	-
9	+		9	-
10		+	10	-
11	+		11	-
12		+	12	-

**Tabla 2.** Desempeño del sistema amigdalino cuando se le aplica contrapropagación en ambas poblaciones de caras.

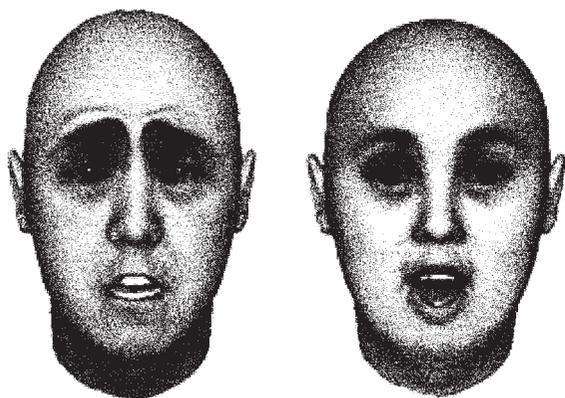
APRENDIZAJE SUPERVISADO					
Neurona	Población típica		Síndrome de Down		
	1	0	1	0	
Valencia	neg.	pos.	neg.	pos.	
1			+	1	+
2	+		2		+
3	+		3	+	
4		+	4		+
5	+		5		+
6		+	6		+
7	-		7	-	
8	-		8	-	
9	-		9	-	
10	-		10	-	
11	-		11	-	
12	-		12	-	

por el hecho de que la información emocional comparte el uso de muchos rasgos faciales. Por ejemplo, la cara 3 con SD positiva (cara de sorpresa positiva) fue agrupada con caras negativas. Esto puede deberse a que dicha cara comparte rasgos con las expresiones de tipo negativo. Observe como es que esta cara comparte algunos rasgos similares con la cara de miedo (véase figura 6).

El problema de desempeño en el reconocimiento facial se enfatiza si el sistema amigdalino es entrenado con todas las eigencaras de ambos grupos a la vez y no por separado como en las simulaciones anteriores. La tabla 3 muestra el decremento en el desempeño de clasificación. De esta forma rasgos faciales de ambos tipos de estímulos (típica vs. SD) funcionan como un factor de interferencia adicional en la clasificación de valencia emocional.

De la tabla 3, obsérvese que para el caso de las caras de la población típica, la unidad 1 se encarga de responder tanto a todas las caras negativas como a casi todas las positivas (excepto una).

Finalmente, la inclusión de una tercera neurona en el sistema, no tuvo ningún impacto en la clasificación de la información emocional en el sistema amigdalino no supervisado. Ocasionalmente, cuando el sistema fue forzado a salir de algún mínimo local este separaba una cara positiva o negativa del rostro del grupo para asignar su reconocimiento a la tercera neurona.



**Fig. 6.** Las caras de miedo (izquierda) y sorpresa (derecha) pueden ser confundidas por el sistema amígdala dada su similitud. Por ejemplo, el levantamiento de cejas y apertura de bocas son centrales ambas caras. Sin embargo, en el caso de la sorpresa, la apertura de la boca es mayor. Esto no parece suficiente para su discriminación emocional

**Tabla 3.** El entrenamiento con todas las eigencaras de ambas poblaciones de cara genera un pobre desempeño.

APRENDIZAJE SUPERVISADO TODOS					
Neurona	Población típica		Síndrome de Down		Valencia
	1	0	1	0	
	neg	pos.	neg	pos.	neg pos.
1		+	1		+
2		+	2	+	
3		+	3	+	
4		+	4		+
5			5	+	
6		+	6		+
7	-		7		-
8	-		8		-
9	-		9		-
10	-		10		-
11	-		11		-
12	-		12		-

Dado que el sistema de reconocimiento facial emocional que se consideró asumió que debería existir una apropiada clasificación de valencia emocional por parte de la amígdala solo se consideraron aquellas eigencaras que fueron correctamente clasificadas. Para este propósito, se trabajó con un conjunto de tres caras positivas, tres negativas y tres caras neutras para cada población. Por otra parte, dado que la combinación de ambos grupos de Eigencaras produjo un desempeño más bajo que cuando se considera la población por separado entonces las simulaciones IACSD se dividieron por tipo de población, esto es, un sistema de reconocimiento facial para SD y otro para la población típica.

En el caso del sistema IACSD, el FRU, así como el de unidades PIN convergieron casi de inmediato a un mínimo global de error después de 500 exposiciones. Todas las caras seleccionadas para reconocimiento facial (positivas, negativas y neutras) fueron reconocidas apropiadamente lo que permitió usar el sistema amigdalino para determinar si la inserción de información facial emocional tuvo un efecto en el desempeño de reconocimiento facial logrado. En relación a esto, es interesante el hecho de que aún y cuando las unidades PIN no parecen ser afectadas en su capacidad de reconocimiento con la inserción emocional, el sistema amigdalino se comportó con bajo desempeño en el

reconocimiento de información negativa por la amígdala. Si se introduce ruido en la conectividad que existe entre la retina y las unidades competitivas, entonces la capacidad de reconocimiento emocional negativa se ve afectada casi en su totalidad y no el reconocimiento facial emocional positivo. Aún en estas condiciones de deterioro las unidades PIN sostienen su buen desempeño.

En general, los resultados señalan, que la clase de información emocional que una cara emocional lleva puede ser naturalmente extraída en dos valencias emocionales por mecanismos neurocomputacionales inspirados en el funcionamiento perceptual del cerebro humano. Dicha propiedad dual de información de la cara emocional humana parece estar implícita o latente y es capaz de especificarse por mecanismos de interacción competitiva. En condiciones de reconocimiento facial óptimas es la información negativa la que primero es afectada si el sistema de reconocimiento facial se encuentra bajo situación de estrés. Sin embargo, es la información negativa y no la positiva la más susceptible de identificarse o reconocerse apropiadamente y de forma más rápida en condiciones normales, sugiriendo que es esta valencia la que trae latente más información implícita que permite su más pronta clasificación.

## CONCLUSIONES

Los resultados de las simulaciones computacionales conexionistas sugieren que las dificultades en el procesamiento emocional negativo en el SD parecen no estar asociadas a un mecanismo de reorientación evaluativa preatentiva disfuncional sobre la información emocional negativa como en el caso de la depresión o la ansiedad (e.g., Williams, Watts, MacLeod, y Mathews, 1997), sino que más bien pueden estar relacionadas a procesamiento neurocomputacional que usa o no la información implícita en la valencia emocional que es extraída previo a los procesos de reconocimiento facial (e.g., el reconocimiento de la identidad facial).

Las simulaciones también señalan la posibilidad de que estas dificultades en el reconocimiento facial emocional negativo, se deban a una falla inhibitoria en un sistema de competencia de extracción de características. Esta falla puede hacer que el sistema de reconocimiento emocional sea muy inestable. Ya que, como se observó, cuando la actividad de reconocimiento facial e identidad interactuaban para el reconocimiento facial emocional

se afectaba el desempeño del sistema amigdalino simulado con y sin disfunción. Esta inestabilidad se puede explicar por el hecho de que los diferentes módulos del sistema de reconocimiento facial compiten por una interpretación del rostro y siendo el sistema amigdalino de poco peso inhibitorio en la competencia global hace de la amígdala un sistema inestable y susceptible a la equivocación. Esto explicaría la variedad de desempeño de la persona con SD al reconocer información facial negativa. Algunos de los miembros de esta población parecen reconocer información negativa pero otros no (Morales, 2010). Los mecanismos inhibitorios dada la competencia entre módulos de reconocimiento facial emocional pueden ser diferentes dependiendo de la persona con SD de la que se trate.

La contribución de mayor relevancia del sistema IACSD, propuesto en el presente estudio, es que permitió señalar que dentro de un proceso de reconocimiento facial el factor emocional influye desde procesos previos a la construcción de una representación facial. Información emocional implícita en los rostros permitió catalogar correctamente 80% de las caras típicas y 70% de caras con SD. Sugiriendo la posibilidad de que mecanismos de procesamiento periférico de bajo nivel, es decir de tipo perceptual, sean capaces de una discriminación de valencia previa a una clasificación de una emoción que incluya factores de identidad o familiaridad. Esto no había sido considerado previamente en modelos cognitivos de reconocimiento facial emocional. De relevancia es señalar que cuando se cometían errores de discriminación de valencia en el sistema IACSD estos no afectaban el desempeño de reconocimiento de identidad el cual se asume de mayor jerarquía.

Otro aspecto relevante al proceso discriminativo de valencia fue la interferencia que ocasionó el mezclar los rostros de ambas poblaciones (véase tabla 3). Pareciera como si ambos conjuntos faciales fueran cualitativamente diferentes y el proceso de discriminación no pudiera converger a una solución. Esto implicaría que el rostro facial con SD trae consigo información única. Sobre todo la información positiva, la cual siempre produjo mejores índices de discriminación aún y cuando el sistema amigdalino era afectado. Esto no fue el caso para las caras negativas de la población SD.

De esta forma, el término déficit de reconocimiento de valencia negativa para tipificar a una población que se clasifica a sí misma como 'eternamente felices' parece

cada vez más un término inapropiado (Morales y López, 2006). El procesamiento de la cara positiva SD parece traer información que puede ser de relevancia al SD y que es cualitativamente diferente a la información de una persona típica.

Lo anterior tiene una implicación directa en técnicas educativas usadas en la población con SD. Aquí, técnicas de reforzamiento conductual correctivo (e.g., castigo) que implican una interpretación facial negativa podrían no funcionar efectivamente en todos los miembros de la población con SD ya que pueden ser interpretadas de manera diferente. Más bien un reforzamiento enfatizando el contexto positivo de una meta pareciera una mejor opción.

Dicho proceso educativo debe entonces considerar la posibilidad de reinterpretar el término de déficit por uno de estilística cognitiva que permitan la integración del procesamiento pre-atentivo o de significado emocional como un factor explicativo y exclusivo del término de déficit, incluso en ambientes educativos. Por ejemplo, un estilo afectivo centrado en el procesamiento de información positiva codificada de forma especial y exclusiva en las caras de personas con SD.

Considerando lo anterior hay que señalar la necesidad de nuevas líneas de investigación en el estudio del reconocimiento facial emocional y resaltar la plausibilidad de un nuevo modelo de procesamiento de información emocional que considere las características neurales específicas de la población con SD.

## REFERENCIAS

- Aggleton, J. P. (2000). *The amygdala*. 2ª ed., Nueva York, NY, EU: Oxford University Press.
- Annaz, D., Karmiloff-Smith, A., Johnson, M. H., y Thomas, M. S. C. (2009). A cross-syndrome study of the development of holistic face recognition in children with autism, Down syndrome, and Williams syndrome. *Journal of Experimental Child Psychology*, 102(4), 456-486.
- Bauer, R. (1984). Autonomic recognition of names and faces: A neuropsychological application of the Guilty Knowledge Test. *Neuropsychologia*, 22(4), 457-469.
- Bauer, R. (1986). The cognitive psychophysiology of prosopagnosia. En H. Ellis, M. Jeeves, F. Newcombe y A. Young, (Eds.). *Aspects of face processing* (pp. 253-267). Dordrecht, The Netherlands: Martinus Nijhof.
- Breen, N., Caine, D., y Coltheart, M. (2000). Models of face recognition and delusional misidentification: a critical review. *Cognitive Neuropsychology*, 17(1-3), 55-71.
- Bruce, V., y Young, A. (1986). Understanding face recognition. *British Journal of Psychology*, 77(3), 305-327.
- Burton, A. M. (1994). Learning new faces in an interactive activation and competition model. *Visual Cognition*, 1(2/3), 313-348.
- Burton, A. M., Bruce, V., y Johnston, R. A. (1990). Understanding face recognition with an interactive activation model. *British Journal of Psychology*, 81, 361-80.
- Burton, A. M., Young, A. W., Bruce, V., Johnston, R., y Ellis, A. W. (1991). Understanding covert recognition. *Cognition*, 39(2), 129-166.
- Conrad, N. J., Schmidt, L. A., Niccols, A., Polak, C. P., Riniolo, T. C., y Burack, J. A. (2007). Frontal electroencephalogram asymmetry during affective processing in children with Down syndrome: a pilot study. *Journal of Intellectual Disability Research*, 51(12), 988-995.
- Diamantaras K. I., y Kung, S. Y. (1996). *Principal Component Neural Networks: Theory and Applications*. New York: John Wiley & Sons.
- Du, S., y Ward, R. K. (2009). Improved face representation by non uniform multilevel selection of gabor convolution features. *IEEE Trans Syst Man Cybern B Cybern*, 39(6), 1408-1419.
- Eleyan, A., y Demirel, H. (2007). PCA and LDA based Neural Networks for Human Face Recognition. En D. K. Delac y M. Grgic (Eds.), *Face Recognition* (pp. 93-106). Viena, Austria: I-TECH Education and Publishing.
- Ellis, H. D., y Young, A. (1990). Accounting for delusional misidentifications. *British Journal of Psychiatry*, 157, 239-248.
- Farah, M. J., O'Reilly, R. C., y Vecera, S.P. (1993). Dissociated overt and covert recognition as an emergent property of a lesioned neural network. *Psychological Review*, 100(4), 571-588.
- McClelland, J. L., y Rumelhart, D. E. (1981). An interactive activation model of the effect of context in perception: I. An account of basic findings. *Psychological Review*, 88(5), 375-407.
- McClelland, J. L., y Rumelhart, D. E. (1988). *Explorations in parallel distributed processing*. Cambridge, MA: Bradford Books.

- Morales, M. G. E., y López, R. E. O. (2005). Mecanismos cognitivos de reconocimiento de información emocional en personas con síndrome de Down. *Revista Médica Internacional sobre Síndrome de Down*, 9(1), 2-6.
- Morales, M. G. E., y López, R. E. O. (2006). *El síndrome de Down y su mundo emocional*. México: Trillas.
- Morales, M. G. (2010). Nuevas direcciones metodológicas desde una visión cognitiva y neurocomputacional en la exploración del reconocimiento facial de la emoción en el síndrome de Down. Tesis doctoral no publicada. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. (Suma Cum Laudem)
- Morales, M. G. E., y López, R. E. O. (2010). Down syndrome and automatic processing of familiar and unfamiliar emotional faces. *International Journal of Special Education*, 25(3), 17-23.
- Morales, M. G. E., López, R. E. O., y Hedlefs, A. M. I. (2010). *La psicología de las emociones: La expresión facial como una revelación de la emoción y el pensamiento*. México: Trillas.
- Pitcairn, T., y Wishart, J. (2000). Face processing in Children With Down Syndrome. En D. Weeks, R. Chua y D. Elliot (Eds.). *Perceptual-Motor behavior in Down syndrome* (pp. 123-147). Edinburgh, Inglaterra: Human Kinetics.
- Porter, M., Coltheart, M., y Langdon, R. (2007). The neuropsychological basis of hypersociability in Williams and Down syndrome. *Neuropsychologia*, 45(12), 2839-2849.
- Rumelhart, D. E., McClelland, J. L., y the PDP Research Group (1986). *Parallel distributed processing. Explorations in the microstructures of cognition: Psychological and biological models: Vol. 2. Psychological and biological models*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Serrano, S (2009). *Face recognition: Eigenface tutorial*. University of Drexel, Recuperado el 5 de julio de 2010 de <http://www.pages.drexel.edu/~sis26/Computer%20Vision.htm>
- Turk M. A., y Pentland, A. P. (1991). Face recognition using eigenfaces [Versión electrónica], *IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*. 586-591. Recuperado el 30 de mayo de 2010, de [www.cs.ucsb.edu/~mturk/Papers/mturk-CVPR91.pdf](http://www.cs.ucsb.edu/~mturk/Papers/mturk-CVPR91.pdf)
- Turk, J., y Cornish, K. (1998). Face recognition and emotion perception in boys with Fragile X syndrome. *Journal of Intellectual Disability Research*, 42(6), 490-499.
- Williams, J. M. G., Watts, F. N., MacLeod, C., y Mathews, A. (1997). *Cognitive psychology and emotional disorders* (2ª ed.). Chichester, Inglaterra: John Wiley & Sons.
- Wishart, J., y Pitcairn, T. (2000). Recognition of identity and expression in faces by children with Down syndrome. *American Journal on Mental Retardation*, 105(6), 466-479.
- Wishart, J. G., Cebula, K. R., Willis, D. S., y Pitcairn, T. K. (2007). Understanding of facial expressions of emotion by children with intellectual disabilities of differing aetiology. *Journal of Intellectual Disability Research*, 51(7), 551-563.