



El cole de Celia y Pepe

FUNDACIÓN QUERER

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “SONRISA DE DUCHENNE” DE LA FUNDACIÓN QUERER.

Efecto de la sonrisa de Duchenne de los padres en la respuesta socioemocional y cognitiva en niños con dificultades de aprendizaje escolar del colegio Celia y Pepe de la Fundación Querer.

Autores: Tomás Ortiz, Pablo Nogueira, Rosa Henche.

ÍNDICE

1. **Resumen ejecutivo.**
2. **Curso escolar 2018-2019. Comienzo de la investigación.**
 - 2.1. ¿En qué nos basamos para conseguir el objetivo en esta investigación?
 - 2.2. ¿Cuáles fueron nuestros objetivos e hipótesis?
3. **Curso escolar 2019-2020. Desarrollo del proceso de investigación.**
 - 3.1. Registros cerebrales mediante EEG.
 - 3.2. Desarrollo de la App.
4. **Curso escolar 2020-2021. Desarrollo del proceso de investigación.**

- 4.1. Registros de los potenciales evocados ante imágenes del rostro con sonrisa de Duchenne y cara neutra.
- 4.2. Puesta en marcha de la plataforma App.
- 4.3. Retest de los potenciales evocados, de la evaluación neuropsicológica y de la plataforma App al final del curso escolar.

1. Resumen ejecutivo.

Se trata de un proyecto de investigación PIONERO EN ESPAÑA cuyo objetivo es ayudar a miles de niñas y niños con problemas de desarrollo, como resultado de enfermedades y/o síndromes neurológicos. En España se estima que existe entre 220.000 y 250.000 menores de edad con trastornos del desarrollo y dificultades de aprendizaje. Esta herramienta puede resultar fundamental para padres, profesores y profesionales en el apoyo a estas familias y, sobre todo, en obtener mejorías de concentración y memoria y, por lo tanto, de aprendizaje.

La Fundación Querer contempla, como parte de su misión, no solo desestigmatizar las enfermedades neurológicas y mentales infantiles y juveniles, sino apoyar la educación y la investigación científica como soporte para mejorar sus capacidades, la integración social y la inclusión real de miles de niños y niñas, tanto en España como en países de habla hispana.

Inicio del proyecto: curso académico 2018-2019.

Fecha de conclusión: curso académico 2020-2021.

Número de niños participantes: 32.

Número de profesionales involucrados: 10.

Descripción de lo realizado hasta el momento:

2.1.- Curso académico 2018-2019.

- a. Revisión de artículos científicos.
- b. Objetivos e hipótesis.

2.2.- Curso académico 2019-2020.

- c. Desarrollo de los protocolos de registro de un rostro con sonrisa de Duchenne y de otro neutro.
- d. Registros de potenciales evocados ante la estimulación con caras.
- e. Desarrollo de la App.

2.3.- Curso escolar 2020-2021.

- f. Evaluación pretest de potenciales evocados mediante EEG.
- g. Evaluación pretest de funciones cognitivas y sociales.
- h. Protocolo de aplicación de la App en el cole y en casa durante el presente curso académico.
- i. Evaluación posttest potenciales evocados.
- j. Evaluación posttest de funciones cognitivas y sociales.
- k. Evaluación conductual de la aplicación de la App.

2.- Curso escolar 2018-2019. Comienzo de la investigación.

Durante este curso académico se comenzó a llevar a cabo una revisión de los estudios relacionados con las emociones positivas mediante la sonrisa. Este estudio nos permitió desarrollar los presupuestos básicos para llevar a cabo el protocolo, metodología, hipótesis y objetivos principales del estudio.

2.1.- ¿En qué nos basamos para conseguir el objetivo en esta investigación?

Es bien sabido que niños con un retraso notable en la consecución de los hitos durante el neurodesarrollo tienen un alto riesgo de sufrir deterioro cognitivo posterior [von Wendt y col, 1984, Melillo, 2011], mientras que aquéllos con un desarrollo motor temprano presentan también una mejora importante en las funciones cognitivas [Murray y col, 2006, Ridler y col, 2006]. Uno de los procesos claves en el desarrollo psicomotor viene determinado por el interés y la motivación del niño, capaz de anticipar los procesos motores asociados a los estímulos de la vida diaria. Las emociones son respuestas a ciertos estímulos que activan sistemas neuronales que motivan al sujeto a llevar a cabo acciones de forma muy rápida, hecho que conlleva un papel importante en los procesos cognitivos, la percepción, el aprendizaje y la toma de decisiones.

En este ámbito de la neuropsicología, las emociones positivas van a ser un elemento importante en los procesos motivadores de los niños, tanto es así que los que muestran un bajo rendimiento académico o problemas escolares se sienten mucho más motivados frente a actividades de aprendizaje que les resultan emocionalmente positivas (Hardiman, 2012); es más, las emociones positivas pueden mejorar una amplia gama de procesos cognitivos, con un mejor desempeño del pensamiento creativo (Fredrickson, 1998, Fredrickson y Branigan, 2005). En concreto, se ha comprobado que la percepción de las emociones positivas tiene la capacidad de modificar los circuitos de memoria y aprendizaje, activando áreas cerebrales parahipocámpales anteriores derechas y visuales extraestriadas, lo que demuestra la interacción de la emoción y la cognición y su relevancia en los procesos de memoria (Erk y col, 2003, Yapple y Vakhrushev, 2016).

Dentro de las emociones positivas, la sonrisa adquiere gran relevancia en el proceso de aprendizaje escolar, debido a la interacción constante de los niños y profesores en la escuela. Se pueden distinguir varios tipos de sonrisa, pero es la denominada "sonrisa de Duchenne", sin lugar a dudas, la que provoca una mayor reacción de los sistemas neuronales. Tras recibir el estímulo sonriente facial (alrededor de los 500 milisegundos) se activan simultáneamente el músculo zigomator mayor que mueve la musculatura de los labios y el músculo corrugador orbicular, responsable del movimiento de la musculatura de los ojos. Esta específica, caracterizada por una mímica facial rápida, si es evocada automáticamente, puede constituir un mecanismo determinante en los procesos de interacción y empatía dentro del ámbito escolar (Dimberg y Thunberg, 2012), puesto que los diferentes patrones de actividad de los músculos faciales están relacionados con diferentes estados emocionales; por ejemplo, la exposición a rostros felices activan la región cigomática y los orbiculares (Dimberg, 1982).

La sonrisa de Duchenne es natural y espontánea. En ella, los músculos cigomático mayor y menor se contraen, elevando las comisuras de los labios y el orbicular, dando lugar a las arrugas alrededor de los ojos y la elevación de las mejillas (Darwin, 1872). Este tipo de sonrisa conlleva una gran carga emocional, activando áreas del sistema límbico (Ekman, 2003). Como contrapunto, existe otro tipo de sonrisa que se ha venido denominando "sonrisa social", en la que los orbiculares no se contraen. Las neuronas involucradas son las de espejo corticales, localizadas en la circunvolución frontal inferior y en el lóbulo parietal y son las responsables de la empatía y la socialización (Rizzolatti & Craighero, 2004).

Un aspecto también importante es que la sonrisa es una de las expresiones emocionales positivas que el recién nacido adquiere durante los primeros años de su vida en su interacción con los padres (Loeches y col 2004, Mattson y col, 2013). Esto nos permite entender que la sonrisa es una herramienta de formación indispensable en el apego con sus progenitores. De hecho los recién nacidos imitan los gestos de los adultos de forma instintiva por el proceso de desarrollo de su cerebro; en este caso la imitación depende de mecanismos neuronales relativamente simples (Meltzoff & Moore, 1983). Según el niño crece es capaz interpretar, comprender y sentir las emociones del otro, de forma empática. Es un mecanismo neuronal en el que intervienen, como hemos mencionado anteriormente, las neuronas en espejo, que tienen una función primordial para nuestra vida social (Jacoboni, 2009).

Promover la estimulación y el mantenimiento de esta sonrisa durante el mayor tiempo posible de la jornada escolar, puede contribuir a reafirmar la seguridad en uno mismo, y, por consiguiente, mejorar la autoestima. Por ello la utilización de la sonrisa constituye un elemento clave durante el primer procesamiento atencional (Calvo y col, 2013), muy necesario para el aprendizaje en la escuela.

Diferentes estudios encontraron que las personas capaces de evocar la sonrisa de Duchenne se muestran ante la sociedad auténticas, genuinas, reales, atractivas, dignas de confianza; con mayor positivismo y felicidad (Perron y Roy-Charland, 2013, Gunnery y Ruben, 2016).

Todos estos estudios, en conclusión, nos permiten afrontar nuestro objetivo con la seguridad científica suficientemente necesaria para obtener buenos resultados.

REFERENCIAS

1. Calvo, M. G., Gutiérrez-García, A., Avero, P., & Lundqvist, D. (2013). Attentional mechanisms in judging genuine and fake smiles: Eye-movement patterns. *Emotion*, 13(4), 792–802.
2. Dimberg U, Thunberg M. Empathy, emotional contagion, and rapid facial reactions to angry and happy facial expressions. *Psych J*, 2012 Dec;1(2):118-27.
3. Ekman, P., Davidson, R. J., & Friesen, W. V. (1990). The Duchenne smile: Emotional expression and brain physiology: II. *Journal of Personality and Social Psychology*, 58, 342–353.
4. Erk S, Kiefer M, Grothe J, Wunderlich AP, Spitzer M, Walter H. Emotional context modulates subsequent memory effect. *Neuroimage*. 2003 Feb;18(2):439-47
5. Fredrickson BL. What good are positive emotions? *Rev. Gen. Psychol.* 1998; 2:300–319.
6. Fredrickson BL, Branigan C. Positive emotions broaden the scope of attention and thought-action repertoires. *Cognition & Emotion*. 2005;19:313–332.
7. Gunnery, S y Ruben, M, 2013. Perceptions of Duchenne and non-Duchenne smiles: A meta-analysis, *Cogn Emot*, 2016;30(3):501-15.
8. Hardiman, M. Informing Pedagogy Through the Brain-Targeted Teaching Model. *J Microbiol Biol Educ*. 2012; 13(1): 11–16.
9. Loeches, A, Carvajal, F Serrano, JM y Fernandez, S. Neuropsicología de la percepción y la expresión facial de emociones: Estudios con niños y primates no humanos. *Anales de psicología* 2004, vol. 20, no 2 (diciembre), 241-259
10. Mattson WI, Cohn JF, Mahoor MH, Gangi DN, Messinger DS. Darwin's Duchenne: eye constriction during infant joy and distress. *PLoS One*. 2013 Nov 20;8(11)
11. Melillo R. Primitive reflexes and their relationship to delayed cortical maturation, underconnectivity and functional disconnection in childhood neurobehavioral disorders. *Funct Neurol Rehab Ergon* 2011;1(2):279-314.
12. Murray GK, Vejjola J, Moilanen K, Miettunen J, Glahn DC, Cannon TD, Jones PB, Isohanni M. Infant motor development is associated with adult cognitive categorisation in a longitudinal birth cohort study. *J Child Psychol Psychiatry* 2006;47:25–29.

13. Perron, M y Roy-Charland, A. *Analysis of eye movements in the judgment of enjoyment and non-enjoyment smiles.* *Front Psychol.* 2013 Sep 24;4:659.
14. Ridler K, Veijola JM, Tanskanen P, Miettunen J, Chitnis X, Suckling J, Murray GK, Haapea M, Jones PB, Isohanni MK, Bullmore ET. *Fronto-cerebellar systems are associated with infant motor and adult executive functions in healthy adults but not in schizophrenia.* *Proc Natl Acad Sci U S A* 2006; 103:15651–15656.
15. von Wendt L, Makinenm H, Rantakallio P. *Psychomotor development in the first year and mental retardation—a prospective study.* *J Ment Defic Res* 1984;28:219–225.
16. Yaple ZA, Vakhrushev R. *Investigating Emotional Top Down Modulation of Ambiguous Faces by Single Pulse TMS on Early Visual Cortices.* *Front Neurosci,* 2016 Jun 30;10:305.

2.2. Cuáles fueron nuestros objetivos e hipótesis.

Nuestro objetivo primario fue la de asociar la sonrisa de Duchenne de los padres a una tarea visoespacial -desarrollada mediante una App- con el fin de valorar su eficacia en el tiempo de respuesta. Nuestra meta, claramente prioritaria y unidireccional, es mejorar los procesos de atención, memoria y aprendizaje escolar de los niños del colegio Celia y Pepe de la Fundación Querer.

Nuestra hipótesis se conceptualiza como la mejora significativa de la respuesta del niño tras la estimulación diaria de la sonrisa de Duchenne por parte de los padres, anterior a un proceso cognitivo, y que se traduce en la eliminación de errores y la disminución del tiempo de reacción, tanto cerebral como motora y, por consiguiente, una evolución positiva del aprendizaje escolar. Se pretende comprobar que esta progresión, que denominamos “mejora ejecutiva bottom-up”, y que alude a la selección del objeto correcto en tiempos más cortos pero adaptados a las patologías de los niños, es debida únicamente a la asociación del objeto con la respuesta emocional a la sonrisa de Duchenne).

3. Curso escolar 2019-2020. Desarrollo del proceso de investigación.

3.1. Registros cerebrales mediante EEG.

1. Durante el curso pasado (2019-2020) se llevó a cabo un desarrollo del protocolo de reconocimiento de imágenes con alternancia de sonrisas de Duchenne y neutras, con el fin de realizar un registro de EEG, mediante potenciales evocados, en el colegio Celia y Pepe.

El protocolo de potenciales evocados mediante EEG fue el siguiente:

Se diseñó una prueba visual-auditiva. La prueba consiste en un estímulo visual (cara con sonrisa de Duchenne y cara neutra) asociada a un tono auditivo de 1000 Hz). El alumno tiene que responder pulsando la barra espaciadora cada vez que se emita el tono de 1000 Hz, que se asocia a su vez a la imagen visual, tanto de la cara con sonrisa de Duchenne como a la neutra, y se añade inmediatamente después de la visión de las imágenes. Durante esta prueba se lleva a cabo un registro de potenciales evocados mediante el sistema de electroencefalografía ATI-Pentatek® de 64 canales. La adquisición se llevará a cabo con un filtro de paso de banda de 0,05 a 30 Hz y una velocidad de muestreo de 1000 Hz. Las impedancias se mantuvieron por debajo de 5 kΩ. Usamos electrodos en ambos mastoides como referencias online. Utilizamos como criterio de exclusión de los llamados “ruidos” o “artefactos” 100 µV para descartar los parpadeos oculares. Inspeccionamos visualmente las pruebas de cada sujeto para asegurarnos de que las grabaciones fueran limpias. Los “ruidos” de movimientos oculares y musculares se identificaron offline a través de una inspección visual, y se eliminaron antes de calcular el promedio de los datos y el análisis del componente N170 del potencial evocado. El componente N170 fue promediado separadamente, tanto por sesión como por sujeto.

Los niños/as durante este proceso, hicieron un registro cerebral para comprobar el efecto de estímulos emocionales en la respuesta cerebral mediante la exposición de dos imágenes diferentes: una, que consistía de una cara neutra; otra, con la sonrisa de Duchenne. La respuesta cerebral apareció alrededor de los 170 milisegundos (ver figura 1).

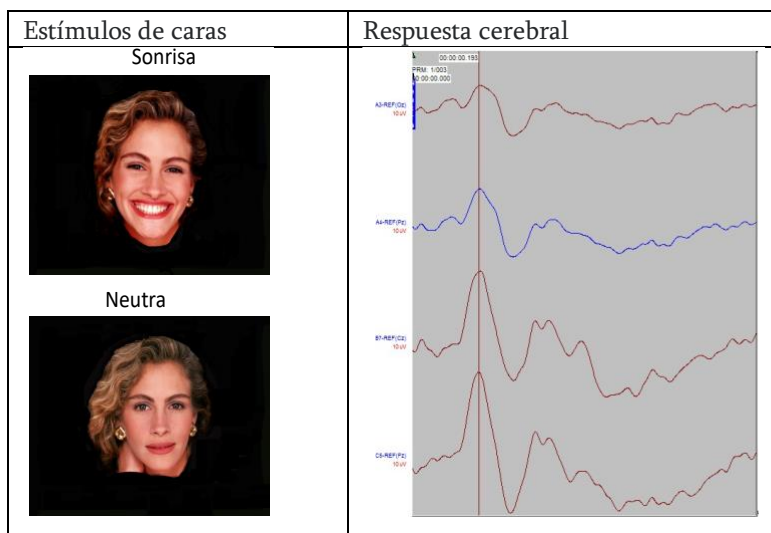


Figura 1.- Estímulos utilizados y onda N170 utilizada para el análisis de fuentes cerebrales.

La latencia de este potencial se obtendrá analizando 40 ms, 20 anteriores y 20 posteriores del pico de mayor amplitud del electrodo Pz, en el intervalo de tiempo de 150 y 250 milisegundos (ver Ortiz y col, 2011).

Con el fin de localizar las fuentes del potencial evocado N170 en el cerebro, se utilizará la solución del problema inverso del EEG a través del método BMA (Bayesian Model Averaging), [Trujillo-Barreto y col, 2004, Penny y col, 2006]. Los modelos individuales fueron obtenidos a través de LORETA (Low-Resolution Electromagnetic Tomography), [Pascual-Marqui y col, 1994] para el cálculo de la tomografía eléctrica cerebral. Cada modelo se definió restringiendo la solución a una estructura anatómica particular o a la combinación de varias, utilizando el paquete de software SPM (Statistical Parametric Mapping), (MathWorks, Natick, Estados Unidos). A partir de las fuentes calculadas en el potencial evocado se aplicó el SPM, con el fin de calcular los mapas en función de una distribución T2 de Hotelling voxel a voxel contra cero [Carbonell y col, 2004] con el objetivo de estimar las fuentes estadísticamente significativas del potencial evocado con la T2 de Hotelling, dependiente para las pruebas intragrupo (pretest y postest). Los mapas de probabilidad resultantes a partir del umbral de proporción esperada de falsos positivos entre las pruebas que fueron significativas se limitaron a una FDR (False Discovery Rate) $q = 0,05$ [Lage-Castellanos y col, 2010] y se representaron como imágenes de activación 3D superpuestas en el cerebro promedio de acuerdo con el sistema de coordenadas del

Instituto Neurológico de Montreal (MNI) [Evans y col, 1993] y según el atlas promedio del Instituto Anatómico de Montreal [Tzourio-Mazoyer y col, 2002].

Referencias

1. Penny WD, Mattout J, Trujillo-Barreto NJ (2006): Bayesian model selection and averaging. In: Friston KJ, et al., editors. Statistical Parametric Mapping: The Analysis of Functional Brain Images. Oxford: Academic Press. pp 454–467.
2. Trujillo-Barreto N.J., Aubert-Vázquez E., Valdés-Sosa P.A., 2004. Bayesian Model Averaging in EEG/MEG imaging. NeuroImage, 21: 1300–1319.
3. MacKay, D.J.C., 1992. Bayesian interpolation. Neural Comput. 4 (3), 415– 447.
4. Pascual-Marqui, R.D., Michel, C.M., Lehman, D., 1994. Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity of the brain. Int. J. Psychophysiol. 18, 49– 65.
5. Evans A.C., Collins D.L., Mills S.R., Brown E.D., Kelly R.L. and Peters T.M. 1993. 3D statistical neuroanatomical models from 305 MRI volumes. Proc. IEEE- Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference. London M.T.P. Press:95, 1813-1817.
6. Tzourio-Mazoyer, N., Landeau, B., Papathanassiou, D., Crivello, F., Etard, O., Delcroix, N. et al. (2002). Automated anatomical labeling of activations in SPM using a macroscopic anatomical parcellation of the MNI MRI single-subject brain. Neuroimage, 15, 273-289.
7. Carbonell F, Galan L, Valdes P, Worsley K, Biscay RJ, Diaz-Comas L, et al. Random field-union intersection tests for EEG/MEG imaging. NeuroImage 2004;22:268–76.
8. Lage-Castellanos A, Martínez-Montes E, Hernández-Cabrera JA, Galan L. 2010. False discovery rate and permutation test: an evaluation in ERP data analysis. Stat Med. 29:63-74.
9. ORTIZ T, POCH J, SANTOS JM, REQUENA C, MARTÍNEZ AM, ORTIZ-TERÁN L, TURRERO A, BARCIA J, NOGALES R, CALVO A, MARTÍNEZ JM, CÓRDOBA JL, PASCUAL-LEONE A. (2011). ***Recruitment of occipital cortex during sensory substitution training linked to subjective experience of seeing in people with blindness.*** PLoS One,6(8):e23264

Primeras conclusiones sobre resultados de registros cerebrales mediante EEG.

Los resultados indicaron que la mayoría de los alumnos obtuvieron una respuesta cerebral muy rápida (178 milisegundos) a la imagen con sonrisa de Duchenne, seguida de la imagen de la cara neutra (200 milisegundos) -figura 2-. La imagen de la sonrisa de Duchenne provocó la activación de las áreas temporales anteriores asociadas con las emociones en la mayoría de los niños que participaron. Sin embargo, durante el reconocimiento de la cara neutra, fueron áreas temporales más posteriores (área fusiforme) asociadas con el reconocimiento del rostro (figura 2), las que consiguieron activarse de forma significativa. Por el contrario, otros niños no consiguieron activar áreas emocionales en ninguno de los estímulos visuales anteriores. Se encontraron muy activadas áreas frontales y occipitales (figura 3).

El tiempo de reacción cerebral más corto se dio en la figura con la sonrisa de Duchenne, tanto en los niños que llegaron a áreas emocionales como los que no, teniendo estos últimos un tiempo de reacción mucho más extenso (figura 2 y 3).

El tiempo de reacción motor fue muy largo, alrededor de 800 ms, comparado con la población normal de su edad, muy lejos del tiempo de reacción apreciado en niños sin ningún tipo de alteración neurológica.

Estos hallazgos neurofuncionales constituyen la base por la que hemos diseñado el presente estudio.

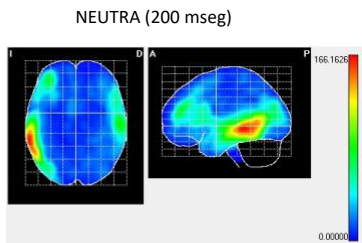
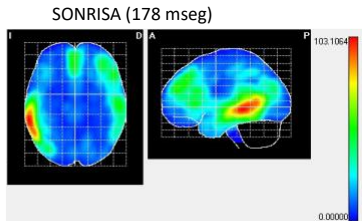


Figura 2.- Representación gráfica de la actividad cerebral y del tiempo en el que llegaron los estímulos a las áreas emocionales durante el reconocimiento facial a través de la cara con la sonrisa de Duchenne y de la cara neutra. Las imágenes corresponden al grupo de niños que consiguió estimular dichas áreas emocionales.

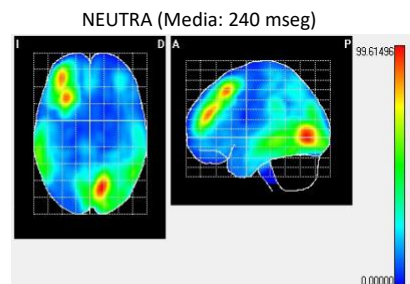
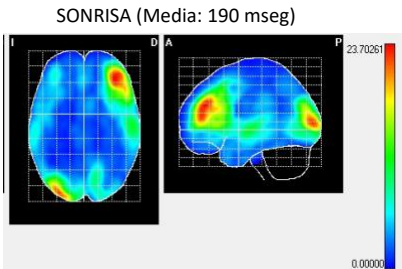


Figura 3.- Representación gráfica de la actividad cerebral y del tiempo en el grupo de aquéllos a los que los estímulos no llegaron a las áreas emocionales durante el reconocimiento facial a través de la sonrisa de Duchenne y la cara neutra.

A la vista de los resultados obtenidos, iniciamos desarrollar una plataforma App de videojuegos donde se mostrarán las caras sonrientes de los padres seguidas de una prueba cognitiva atencional; de esta manera, podremos valorar la eficacia del programa de entrenamiento a nivel neurobiológico a lo largo del curso escolar 2020-2021.

3.2.- Desarrollo de la App.

Para llevar a cabo el estudio, ESNE diseña y desarrolla una **App** para varias plataformas y dispositivos (tablet, móvil, PC). La configuración del estudio para cada niño y los datos de todas las interacciones individuales se almacenan en la nube (Google Firebase). Este sistema permite al equipo investigador cambiar la configuración (incluso desactivar la App) y analizar los datos en remoto, sin impedir a los niños que sigan usando la App de forma transparente.

La App muestra una sonrisa y un objeto. Tras el tiempo estipulado en milisegundos, se muestran objetos en posiciones diferentes. Se pueden mostrar 2, 3, 4 y 6 objetos a seleccionar. Todos los tiempos (mostrado de sonrisa, mostrado de objetos, cambios de pantalla, tiempo máximo para seleccionar el objeto, duración de una iteración, etc.) y distancias (objetos más juntos o más separados, sonrisas más juntas o más separadas al objeto) son configurables.

El mostrado de las caras con el objeto seguido de la selección de objetos se ofrece como la “partida” de un juego con efectos de sonido, música de acompañamiento (opcional) y refuerzos positivos (mensajes y sonidos) independientemente de los resultados de elección del niño.

Cronograma detallado de fases.

Fase 1: febrero - abril 2019 : educación de requisitos, diseño y desarrollo “mockup” y prototipo App.

- Inicialmente se comienza con la hipótesis de usar retratos a dibujo anónimos para las sonrisas y caras neutras, de forma que, tanto caras como objetos, sean dibujos.
- Educación de requisitos de la App para distintas fases del estudio de investigación (tiempos, objetos, disposición de objetos) con el doctor Tomás Ortiz.
- Diseño “mockup” de la App. Validación del diseño con el doctor Tomás Ortiz.
- Desarrollo de rostros con sonrisa de Duchenne y neutros.
- Creación de objetos de estética juvenil con estilos y paleta de colores variados.
- Programación prototipo App para validación de requisitos y pruebas con niños.

Fase 2: mayo - junio 2019 : testeo, pruebas con selección de niños del Colegio de Celia y Pepe.

Descartes de objetos y retratos.

- Testeo App con almacenamiento de datos en la nube. Configuración fija para cada niño en su propia App. Finalización de objetos (más de 9.000).
- Se introducen colores más variados y gama de grises para controlar el efecto del color.
- Vídeo animática con instrucciones de uso para los niños.
- Validación y descarte de rostros (sonrisas y neutras) con César, neuropsicólogo del Colegio de Celia y Pepe. Se mejoran los retratos y se crean nuevos a partir de las observaciones de César y Tomás Ortiz.
- Dos pruebas realizadas: mayo y junio, con retratos y objetos a color, retratos y objetos en gama de gris, y retratos a color con objetos, también en gama de gris. Pruebas usando la App con cuatro niños, modificando tiempos, número de objetos y distancia entre los mismos. Resultados inconclusos o negativos: algunos niños responden ante el color, o ante ciertos retratos y no

otros, o no responden. Descarte de gama de gris, descarte de retratos de caras neutras como control (no se percibe efecto en el control cuando no hay éxito).

- Se descartan rostros anónimos y se opta por hacer retratos de profesores y familiares a partir de fotos tomadas por ellos mismos que requieren retoques y postprocesado. No se reciben suficientes fotos ni de suficiente calidad.

Fase 3: septiembre - diciembre 2019:

- Se opta por fotos reales de familiares y/o profesores sin caras neutras.
- Sesiones fotográficas para incorporar sonrisas de familiares y/o profesores.
- Filtrado de sonrisas que cumplen con el criterio Duchenne.
- Procesado de fotos, bordes, paleta, colores, etc.
- Revisión y descarte de objetos (por estética o por posible efecto emocional no controlado). Generación de nuevos objetos. Nueva paleta de colores acorde a la paleta de fotos de familiares.
- Tests EEG positivos con todas las fotos de la primera sesión fotográfica: se produce respuesta emocional ante las fotos en los niños seleccionados.
- Comienzo de programación de App para obtener configuración en la nube, reconfiguración posible durante un estudio o sesión de juego sin afectar a la interacción del niño.
- Control de errores respecto a fallos de conectividad (WIFI, 4G, etc.). Se incorpora funcionalidad para almacenar datos en local hasta disponer de conectividad.
- Test de estrés de App, múltiples usuarios en paralelo con acceso a la nube. Participan alumnos de ESNE. Creación de cuenta de correo esne.querer@gmail.com para la comunicación con participantes, así como grupos de WhatsApp para suscripción y reporte durante el testeo y futuro estudio.

Fase 4: enero - marzo 2020:

- Filtrado de sonrisas Duchenne a las fotos de la segunda sesión fotográfica.
- Se reintroduce la cara neutra para control. Fotos a profesores de ESNE. Postprocesado.
- Preparación de "sprite sheets" final de fotos familiares y profesores con paleta de colores, iluminación y redondeado.
- Finalización de filtro de objetos en "sprite sheets" con la nueva paleta de colores.
- Última serie de objetos nuevos: 300.
- Corrección de errores de programación encontrados en el testeo de la Fase 3.
- Reconfiguración de datos y nuevas variables tales como la saturación.
- Creación de App externa para consulta de datos para el equipo UCM sin tener que exportarlos a software estadístico SPSS.
- Preparación de infografías y vídeos de instalación, estudio y uso y desinstalación de la App.
- Diseño de íconos, animaciones, música, y efectos de sonido.
- Validación del estado actual de la App por el doctor Tomás Ortiz y el Colegio Celia y Pepe.

Fase 5 : abril - mayo 2020:

- Confinamiento por pandemia del Covid-19.
- Se finalizan los objetos, efectos de sonido, música (desactivable) y refuerzos positivos en mensajes y animaciones.

- Se modifica la App para admitir contraseñas de seguridad y desactivación en remoto. Misma "build" para todos los niños, con selección de usuario y posibilidad de cambiar de usuario (varios niños pueden utilizar el mismo dispositivo).
- Se prueba la versión Android con efectos de sonido, música y refuerzos positivos. Se genera una versión para PC con Windows 10 para las familias que no tienen tableta o móvil Android.
- Se introducen nuevos campos de datos, como el ID de dispositivo. Cuadros de diálogo y control para cambio de usuario y desinstalación.
- Elaboración de instrucciones (infografías y vídeos) de instalación, protocolo del estudio y uso de la App, desinstalación, etc.

Fase 5: junio - diciembre 2020:

- Testeo App versión Android y PC Windows 10 con datos completos, configuración remota "firebase", animaciones, sonidos, multiusuario, etc. Se detectan problemas en la configuración multiusuario remota y con variables de saturación. Su desarrollo se encarga a un programador profesional: control remoto total desde Google Firebase (instalación, cambio de usuario, activación/desactivación). Variables de saturación. Control de espaciado entre caras y objetos; y entre objetos, según resolución de pantalla del dispositivo. Nueva música de fondo e ícono de activación/desactivación de música.
- Generación de últimas colecciones de objetos y animaciones.
- Validación de App con el doctor Tomás Ortiz.
- Nuevas sesiones fotográficas a las familias que se han incorporado al Colegio de Celia y Pepe en el curso 2020-2021. Filtrado y retoque e incorporación a la App.
- Testeo de App para validar el funcionamiento remoto multiusuario, situaciones anómalas, como caída de conexión, usuario que no existe, recuperación de contraseña, etc.

Entregables generados.

1. App interactiva configurable en remoto:
 - Ejecutable en móvil, tableta, PC, Windows 10, etc.
 - Multiusuario: varios niños pueden jugar en el mismo dispositivo, cambiando de usuario con contraseña.
 - Toma la configuración y recoge datos de "partidas" de la nube (Google Firebase). No requiere conexión permanente, guarda en local en el supuesto de que no haya conexión o se detiene si no se puede retomar la conexión. Envío de los datos al recuperar la conexión.
 - Soporte para Microsoft Xbox Adapter Controller.
 - Configurable para cada alumno: caras, tipos y número de objetos, distancia entre los mismos, tiempos de respuesta, etc.
 - Selección aleatoria de objetos no repetidos.
 - Introducción de variables de conteo de éxitos (saturación) en sonrisas y neutras.
2. Aplicación externa para la consulta de data durante el estudio sin tener que descargarlos de la base de datos ni exportarlos al software estadístico SPSS.

3. 60 retratos con sonrisa de Duchenne y neutros en "sprite-sheets" de 6x6 con resolución 600x600 píxeles. Validados con César (neuropsicólogo del colegio), Tomás Ortiz, y alumnos de ESNE. Seleccionados unos 40 y descartados 20. Finalmente son desechados por fotografías tras estudios preliminares con niños.
4. 9.000 (Fases 1-2) + 300 (Fases 3-5) objetos en "sprite-sheets" de 6x6 con resolución 600x600 píxeles por categoría, en distinta gama de colores y gamas de grises. Vista frontal y de perfil, o ligeramente inclinada hacia un lado, pero todos hacia la misma dirección. Paletas de colores unificadas. Estética infantil / "cartoon", etc. No pueden generar emociones negativas. Objetos generados por diferentes artistas para garantizar *diversidad de estilos que eviten el aprendizaje por refuerzo*.

Categorías:

- Animales domésticos y de granja.
- Juguetes: ositos, muñecos, peonzas, pelotas, etc.
- Formas geométricas: triángulos, círculos, rectángulos, etc.
- Utensilios de cocina: tenedor, cuchillo, cuchara, plato, etc.
- Material escolar: lápices, bolígrafos, sacapuntas, estuches, libros, gomas, etc.
- Transportes: coches, autobús, tren, avión, bicicleta, globo, etc.
- Material informático: pantalla, teclado, ratón, portátil, tablet. etc.
- Frutas y verduras: manzana, plátano, pera, zanahoria, lechuga, tomate, etc.
- Letras del abecedario, en varios colores y formas.
- Naves espaciales, satélites, cohetes, etc.
- Personajes profesionales: médicos, enfermeros, soldados, obreros, jardineros, profesores, etc. tanto masculinos como femeninos.
- "Chuches",
- etc.

Validación a cargo del doctor Tomás Ortiz y el personal del colegio, en pruebas con niños y con alumnos de ESNE. Seleccionados, 8000/ descartados, 1000 (por estética o efecto emocional no deseado). Añadidos, 300.

5. Fotografías padres/madres/profesores. Primera sesión: series de 860 fotos de 31 personas en la primera sesión. Seleccionadas 31 sonrisas. Segunda sesión fotográfica, seleccionadas 15 sonrisas. Tercera y cuarta sesión fotográfica, realizadas +100 fotos, seleccionadas 15, realizadas +102 fotos, seleccionadas 11.
6. "Sprite sheets" de fotos de familiares y profesores con filtro a paleta de colores, redondeado y escalado.
7. Rediseño de la página inicio, botones de jugar, de música (on/off), configuración y cambio de usuario. Efectos de sonido, animaciones para refuerzos positivos, música de fondo (opcional), cuadros de diálogo, íconos de control, sonido, cambio de usuario, introducción de contraseña para cambio de usuario.
8. Infografías y vídeos de instrucciones (des)instalación, protocolo estudio, y uso de la App.

Participantes ESNE por tarea y estimación de horas.

Alumnos realizando prácticas curriculares en curso 2018-2019:

- 320 horas - Grado Oficial en Diseño y Desarrollo de Videojuegos de ESNE - asignatura Prácticas Externas, 3er curso, 12 ECTS.
 - Diseño y programación: Alejandro Benítez López.
 - Arte: Jorge Liébana (objetos 2D), Daniel López Fernández-Marcote (objetos 2D), Sara Bárbara Antuña (objetos 2D), Juan Méndez Fernández (objetos 3D), Óscar Marcos (objetos pixel art).
- 370 horas - CFGS en Animaciones 3D, Juegos y entornos interactivos - asignatura Formación en Centros de Trabajo (FCT), 2º curso.
 - Arte: Alejandro Sáenz Carbonell (objetos 2D y animática con instrucciones para los niños), Álvaro Mato Lafuente (objetos 2D), Carmen Barredo Fonteboa (retratos y retoques fotográficos), Cristina Ruíz Blanco (retratos y retoques fotográficos).

Alumnos realizando prácticas curriculares en curso 2019-2020:

- 320 horas - Grado Oficial en Diseño y Desarrollo de Videojuegos de ESNE - asignatura Prácticas Externas, 3er curso, 12 ECTS.
 - Testeo y datos: Egoitz García Alonso (testeo, reporte, gestión de errores y seguimiento de datos en testeo con alumnos y durante el estudio con niños).
 - Arte: Lucía Jurado Escobar (revisión, descarte y mejora de objetos; nuevos objetos; diseño interfaz; cajas de diálogos e iconos; infografías), Marta Lara Blanes (unificación paleta y estilos; revisión, mejora y descarte de objetos; nuevos objetos; mejora interfaz; iconos), Pablo Rodríguez Álvarez (revisión, mejora y descarte de objetos; nuevos objetos; animaciones, sonido y música).

Alumnos voluntarios, segundo curso grado oficial, curso 2019-2020:

- Andrea Gude Castro (producción, gestión y documentación), Mikel Iturralde (programación contra servidor y configuración nube), Carlos Lantarón (apoyo programación), Alejandro Benítez López (continúa en el proyecto como programador principal tras finalizar sus prácticas).
- 30 alumnos voluntarios de entre todos los cursos de ESNE que han evaluado la calidad de los objetos generados, instalado y testado la App hasta diciembre de 2019.

Equipo de ESNE:

- Eduardo Fernández Ric: fotografía, dos sesiones fotográficas con familias y profesores (6 horas, montaje, sesiones, post-procesado).
- Ana Cristina Ruiz Marigó: investigación psicológica y gestión. Apoyo en educación de requisitos, investigación preliminar e hipótesis, diseño del estudio, pruebas y validación con niños, selección y filtrado de fotos, documentación.
- David Alonso Urbano: apoyo en gestión del proyecto y testeo App.
- Pablo Nogueira: dirección y coordinación del proyecto con equipos UCM, Fundación Querer y Colegio de Celia y Pepe. Diseño estudio y App. Educación de requisitos. Revisión y apoyo de programación. Sesiones fotográficas, selección y filtrado de fotos. Pruebas y validación con niños y equipo UCM. Gestión del testeo de la App con alumnos de ESNE. Testeo Android y PC. Generación de instrucciones y documentación. Organización del estudio con familias.
- Luis Rubio: depuración y reprogramación de partes de la App desde noviembre 2020 al no seguir Alejandro Benítez como voluntario. Depuración de errores y reprogramación de la parte multiusuario. Trabajo a cargo del presupuesto propio de ESNE.

4. Curso escolar 2020-2021. Desarrollo del proceso de investigación

4.1. Registros de los potenciales evocados ante imágenes de cara con sonrisa de Duchenne y cara neutra.

Se pone en marcha un segundo estudio de potenciales evocados con las imágenes de cara con sonrisa de Duchenne y de cara neutra. El estudio de potenciales evocados mediante electroencefalografía ha consistido en una prueba visual/auditiva (descrita anteriormente), donde el estímulo visual (cara con sonrisa de Duchenne y cara neutra) se asocia inmediatamente con un tono auditivo de 1000 Hz. El alumno responde pulsando la barra espaciadora cada vez que escuche el tono de 1000 Hz.

Los resultados de este segundo estudio fueron muy similares a los del primero. La mayoría de los alumnos obtuvieron una respuesta cerebral alrededor de los 180 milisegundos a la imagen con sonrisa de Duchenne, seguida de la imagen de la cara neutra (200 milisegundos) -figura 4. La imagen de la sonrisa de Duchenne provocó la activación de las áreas orbito frontales asociadas con las emociones en la mayoría de los niños que participaron. Sin embargo, durante el reconocimiento de la cara neutra, fueron áreas frontales mediales asociadas con la atención las que consiguieron activarse de forma significativa (figura 5). Por el contrario, otros niños no consiguieron activar áreas emocionales en ninguno de los estímulos visuales anteriores. Se encontraron muy activadas áreas occipitales y parietales (figura 6).

El tiempo de reacción cerebral más corto se dio en la figura con la sonrisa de Duchenne, tanto en los niños que llegaron a áreas emocionales como los que no, teniendo estos últimos un tiempo de reacción mucho más largo (figuras 5 y 6).

El tiempo de reacción motor fue muy largo (alrededor de 800 ms), comparado con la población normal de su edad, muy lejos del tiempo de reacción apreciado en niños sin ningún tipo de alteración neurológica.

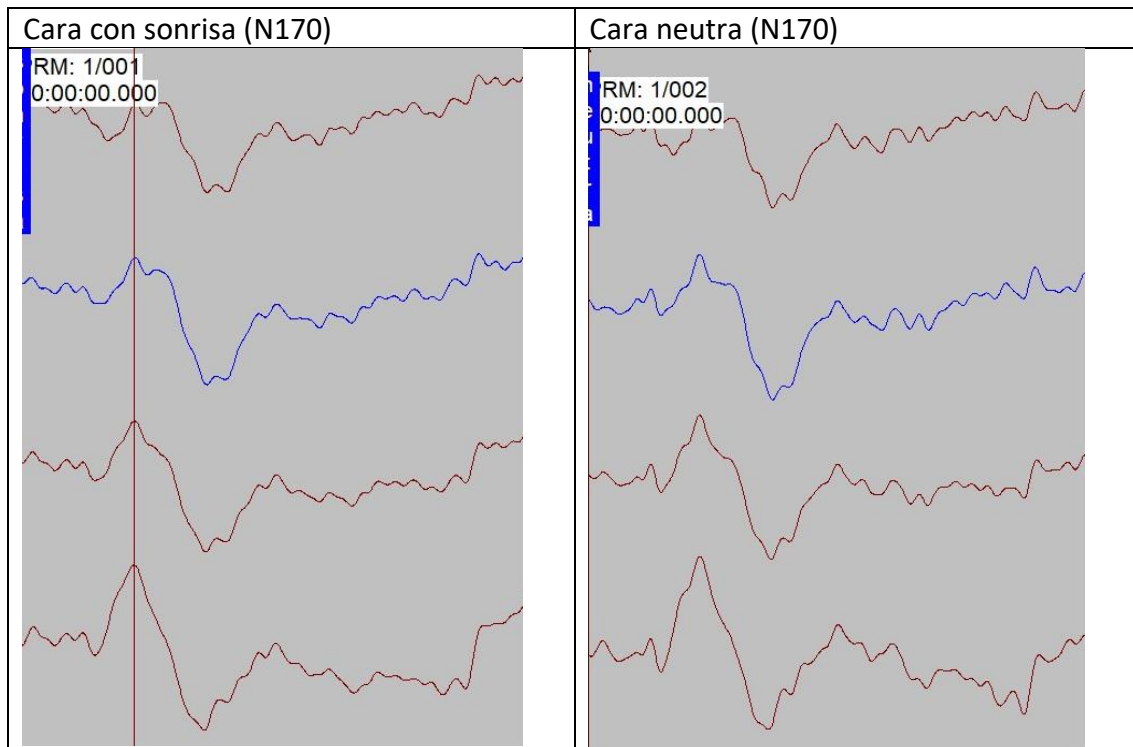


Figura 4.- Representación gráfica del componente N170 de los potenciales evocados

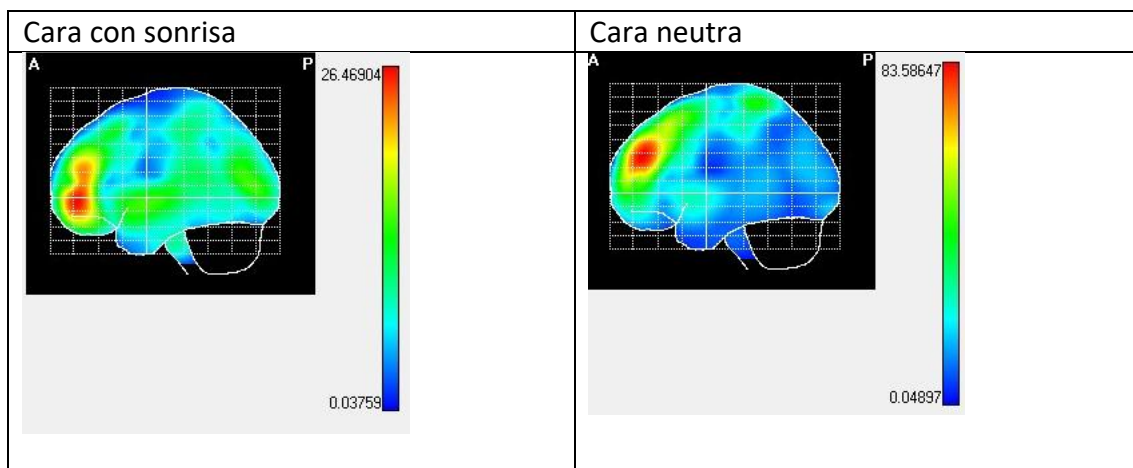


Figura 5.- Representación gráfica de la actividad cerebral del grupo de niños que llegaron a las áreas emocionales durante el reconocimiento facial a través de la cara con la sonrisa de Duchenne y de la cara neutra.

Cara con sonrisa	Cara neutra
------------------	-------------

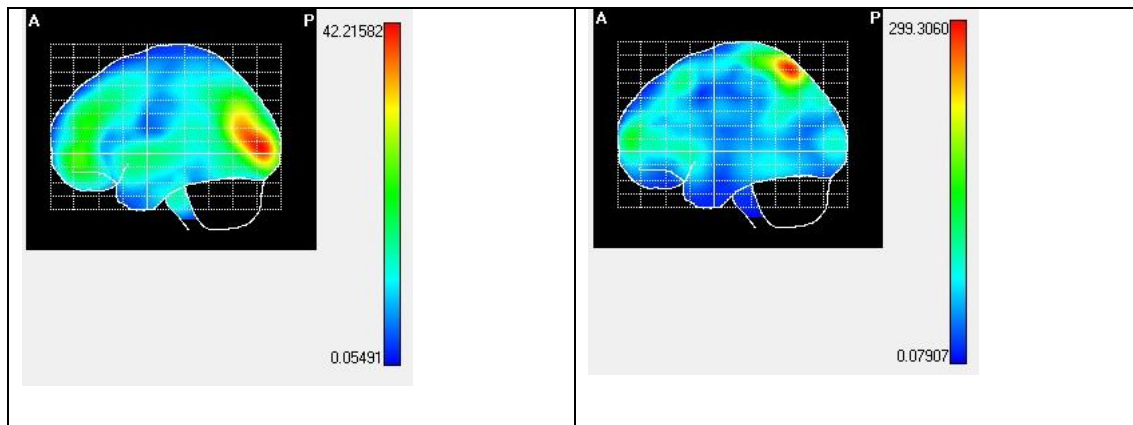


Figura 6.- Representación gráfica de la actividad cerebral del grupo de niños que no llegó a las áreas emocionales durante el reconocimiento facial a través de la sonrisa de Duchenne y de la cara neutra.

4.2. Puesta en marcha de la plataforma App.

Se pone en marcha la plataforma App para el entrenamiento diario con la sonrisa de los padres. La App contiene una sonrisa de los padres seguida de un objeto que necesita una respuesta motora por parte del alumno. Tras el tiempo estipulado en milisegundos, se muestran objetos en posiciones diferentes (2, 3, 4 y hasta 6 objetos a seleccionar). Todos los tiempos (mostrado de sonrisa, mostrado de objetos, cambios de pantalla, tiempo máximo para seleccionar el objeto, duración de una iteración, etc.) y distancias (objetos más juntos o más separados, sonrisas más juntas o más separadas al objeto) son configurables. El mostrado de las caras, seguido de la selección de objetos, se muestra como la "partida" de un juego con efectos de sonido, música de acompañamiento (opcional) y refuerzos positivos (mensajes y sonidos), independientemente de los resultados de elección del niño. Los objetos están dibujados en 2D y 3D con estética juvenil, siguiendo categorías como "material escolar", "chuches", "animales", "plantas", "transportes", "juguetes", etc. Son muchos objetos y muy diversos, posicionados aleatoriamente. La cantidad, diversidad y aleatoriedad son necesarias para evitar el aprendizaje por refuerzo de los niños, que involucra sistemas cognitivos (mejora ejecutiva 'top-down'). Se pretende comprobar que la mejora ejecutiva -elección del objeto correcto en tiempos más cortos pero adaptados a las patologías de los niños- es debida únicamente a la asociación del objeto con la respuesta emocional a la sonrisa de Duchenne (mejora ejecutiva 'bottom-up'). Es conveniente diferenciar el tipo de datos registrados en la plataforma APP; por un lado, los relacionados con el aprendizaje: "aciertos", "errores", "tiempo de reacción" y "progresión del aprendizaje"; y, por otro, los vinculados con los potenciales evocados: "latencia de la onda", "amplitud", "tiempo de reacción", "aciertos", "errores" y "localización de fuentes cerebrales".

4.3. Retest de los potenciales evocados, de la evaluación neuropsicológica y de la plataforma al final del curso escolar.

Por último, con el objetivo de valorar los avances en el aprendizaje, una vez que todos los alumnos hayan completado los ejercicios de la plataforma, se procederá a llevar a cabo las pruebas de potenciales evocados, neuropsicología y variables conductuales de la plataforma App con la intención de analizar la comparación de los datos del inicio del curso escolar con los del final del mismo, tanto a nivel cerebral como psicológico y conductual.

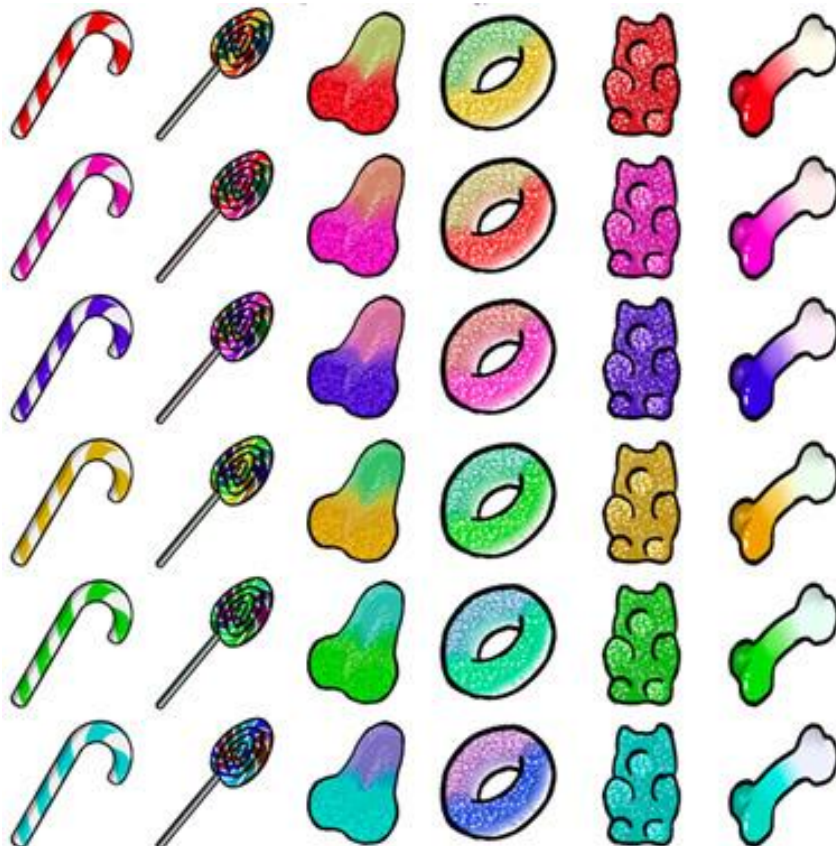
APÉNDICE I.

MUESTRAS DE ARTE.

Muestra de objetos de fases 1 y 2.



OBJETOS REPETIDOS POR CATEGORÍA, DIVERSAS PALETAS DE COLORES.





PALETAS DE COLORES VIVAS Y APAGADAS.





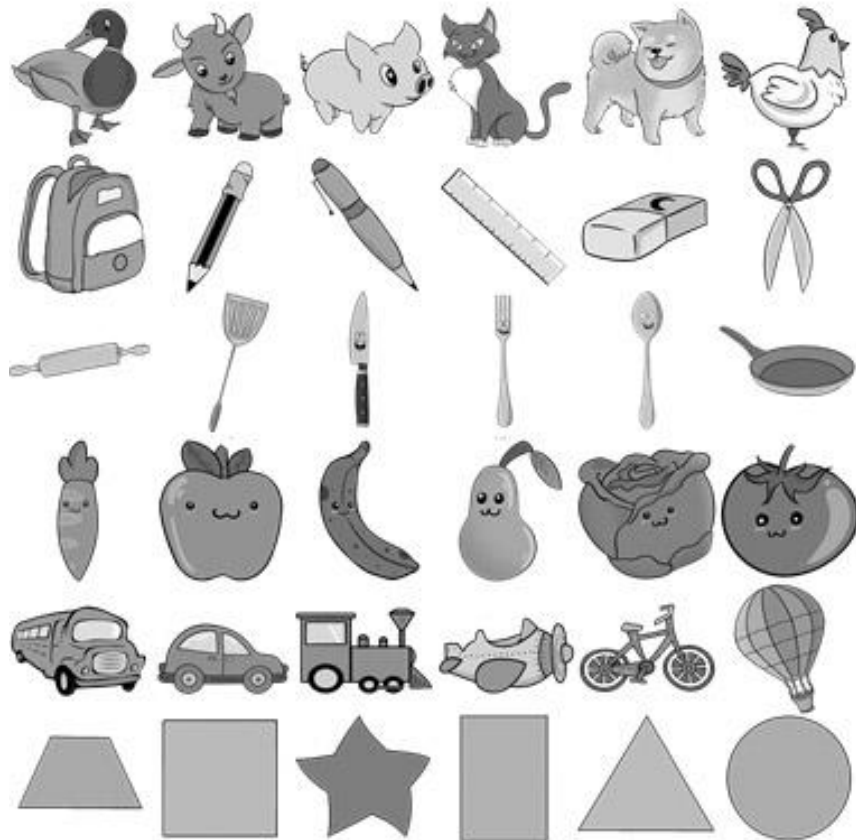


OBJETOS 3D EN BAJA DE FÁCIL RECONOCIMIENTO.





UNA COPA DE CADA OBJETOS VARIADOS EN GAMAS DE GRIS.



Muestra de retratos en fases 1 y 2.



FAMILIAS Y PROFESORES TESTEO.



Muestra fotografías sonrisa Duchenne.



Muestra de objetos de fases 3 y 5.







Muestra interfaz, íconos, botones, etc.





Tomás Ortiz Alonso



Pablo Nogueira



Rosa Henche