



# Estudio de emociones en un proceso de ruptura cognitiva a través del reconocimiento facial

## Study of Emotions in a Cognitive Breakthrough Process Through Facial Recognition

Ángel Ezquerra, Sonia Pamplona, Amalia Casas-Mas, Iván Nieto-Gómez  
*Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Sociales y Matemáticas Facultad de Educación – CFP,  
Universidad Complutense de Madrid, España*  
angelezq@ucm.es, spamplon@ucm.es, amacasas@ucm.es, ivnieto@ucm.es

**RESUMEN** • Las emociones que se producen en los procesos de enseñanza-aprendizaje en ciencias experimentales presentan cuestiones todavía por resolver. En este artículo, hemos utilizado un método paramétrico que usa el reconocimiento facial y permite identificar las emociones en tiempo real y vincularlas con acciones educativas concretas. Se diseñó una actividad para hacer aflorar las emociones en un proceso en el que las conjeturas iniciales colisionaban con los hechos. El análisis muestra cambios muy intensos en las expresiones emocionales de los estudiantes y la existencia de tres tipos de comportamiento frente a esta disonancia entre previsiones y observación: 1) sorpresa; 2) disgusto; y 3) solapamiento de sorpresa y disgusto. Parece especialmente interesante considerar qué emociones específicas genera cada situación de aprendizaje para cada individuo.

**PALABRAS CLAVE:** Reconocimiento facial de expresiones; Emociones; Inteligencia artificial; Cambio conceptual cálido; Ruptura cognitiva.

**ABSTRACT** • The emotions that arise in the processes of teaching and learning in experimental sciences still pose unresolved questions. In this article, we have employed a parametric method that utilizes facial recognition, allowing the real-time identification of emotions and their linkage to specific educational actions. An activity was designed to elicit emotions in a process where initial conjectures collided with facts. The analysis reveals highly intense changes in students' emotional expressions and the existence of three types of behavior in the face of this dissonance between predictions and observation: 1) surprise; 2) anger; and 3) overlapping of surprise and anger. It seems particularly interesting to consider the specific emotions each learning situation generates for each individual.

**KEYWORDS:** Facial emotion recognition (FER); Emotions; Artificial intelligence; Hot conceptual change; Cognitive breakthrough.

Recepción: junio 2023 • Aceptación: noviembre 2023 • Publicación: marzo 2024

## INTRODUCCIÓN

Las representaciones mentales que elaboramos los seres humanos sobre el mundo son objeto de la psicología cognitiva desde la década de los setenta del siglo pasado. Los hallazgos cobraron especial interés en ciencias cuando los profesores constataron que sus estudiantes tenían ideas previas sobre el comportamiento de la naturaleza que «necesitaban borrar». Parecía que estas concepciones alternativas dificultaban el desarrollo de conceptos más elaborados y fundamentados (Driver y Easley, 1978; McCloskey, 1983; Viennot, 1979). Sin embargo, la comprensión de su estructura y funcionalidad hizo que se considerara más adecuada su transformación que su completa supresión (Murphy y Alexander, 2008; Pozo y Carretero, 1987; Vosniadou et al., 2008). Se observó que estas ideas parecían ser implícitas y tener un carácter pragmático (Pozo y Gómez Crespo, 1998; Schnotz et al., 1999), ser muy resistentes al cambio (Driver et al., 1985) y estar muy desconectadas entre sí, o no presentar congruencia interna. Parece que esto es así debido a que estas ideas surgen para dar respuesta inmediata a hechos experienciales específicos. No son contrastadas y se forman sin una reflexión o aplicación fuera del entorno en el que aparecieron (Taber, 2017).

La modificación de las concepciones alternativas resulta ser una tarea de gran dificultad que requiere poner en marcha una transformación paulatina y cualitativa de la estructura cognitiva, del mapa conceptual que utiliza el individuo para entender y operar en el entorno que le rodea (Novak y Mintzes, 1988). Cuando se produce una transformación de las concepciones previas se habla de *cambio conceptual* (Posner et al., 1982; Vosniadou, 2008).

### Del cambio conceptual frío al cálido

El cambio conceptual es un proceso complejo que no se lleva a cabo fácilmente (Duit, 1999). En un primer momento, el cambio conceptual se definió como una transformación estructural y, por tanto, general, en las operaciones cognitivas que el individuo podía llevar a cabo. Este modelo piagetiano del proceso de transformación implicaría el desarrollo de cambios cualitativos en las capacidades del individuo (Piaget y García, 1973; Pozo et al., 1992).

Estudios posteriores, centrados en la estructura cognitiva –o en la vinculación entre las concepciones–, consideraron que los modelos de enseñanza debían procurar el cambio conceptual poniendo el foco en los conocimientos y no tanto en las operaciones formales (West y Pines, 1985). Posiciones intermedias entre la generalidad y la especificidad se han desarrollado *a posteriori*, entrando en juego un nuevo factor: los componentes afectivos ligados a estos procesos de cambio. Estos se consideraron elementos relevantes en el aprendizaje hace ya tres décadas (McLeod, 1992; Mellado Jiménez et al., 2014).

El término *hot cognition* (o *cambio conceptual cálido*) (Pintrich et al., 1993) surgió para diferenciarse de las aproximaciones «frías», que solo consideraban cambios en las estructuras de conocimiento. Desde esta perspectiva, se creyó pertinente añadir la intencionalidad, el interés, los valores y las emociones. Estos elementos son esenciales en el proceso de cambio conceptual (Dolan, 2002; Matusovich y McCord, 2012). Así, se supuso que los estudiantes elaboran mapas conceptuales sobre la realidad y los utilizan para interpretar el mundo. Si en un momento determinado los hechos no encajan con un mapa, se produce una disonancia cognitiva. Si esta es muy brusca, podemos denominarla *ruptura cognitiva*. Con todo, las emociones que acompañan a estos cambios bruscos en los mapas conceptuales aún no han sido suficientemente investigadas.

En la enseñanza de las ciencias, la importancia de integrar las emociones se ha estudiado en relación con: *a*) los contenidos escolares concretos (Física, Química, Biología, Geología, etc.) (Laukenmann et al., 2003; Marcos-Merino, 2019); *b*) la formación inicial y permanente del profesorado (Bellocchi,

2019; Jeong et al., 2016; Lombardi y Sinatra, 2013); *c*) los recuerdos sobre la formación científica recibida (Borrachero et al., 2014); *d*) las preferencias entre asignaturas (Dávila-Acedo et al., 2021); *e*) la percepción pública de la ciencia (Fernández-Carro et al., 2022; Delors, 1996; Tytler y Osborne, 2012; Vázquez Alonso y Manassero Mas, 2009); *f*) las interacciones producidas en el aula (Bellocchi y Ritchie, 2015); y *g*) los distintos tipos de actividades de aprendizaje (Fredricks, 2011; Sinatra y Taasobshirazi, 2018). Este trabajo se enmarca en el estudio de las emociones cuando los alumnos trabajan una actividad escolar de Física en la que las conjeturas iniciales colisionan con los hechos.

## Emociones epistémicas

Las emociones epistémicas son aquellas que se relacionan con las cualidades afectivas de generación de conocimiento (Brun et al., 2016). Es decir, el objeto y el origen de estas emociones es el conocimiento. Por ejemplo, la curiosidad ante el problema planteado, la sorpresa por un resultado inesperado, la diversión o el aburrimiento durante el proceso de aprendizaje, la confusión, la ansiedad o la frustración ante las informaciones aparentemente contradictorias, etc. (Graesser, 2020). Esto implica que los docentes necesitan tener en cuenta los procesos emocionales de los aprendices además del contenido que van a impartir. Así, la identificación de los estados afectivos y la regulación emocional deben estar en el centro de atención de las estrategias de enseñanza y aprendizaje (Borrachero et al., 2014; Pekrun y Linnenbrink-Garcia, 2014). Los avances en investigación han puesto de relevancia que enseñar es una actividad epistémica y social (Rivière, 1991) en la que se ponen en marcha procesos que requieren interpretar y compartir estados, intenciones, deseos y creencias con el alumnado (Tomasello, 2019). Parece pertinente, por tanto, desarrollar aspectos metacognitivos: de reconocimiento y gestión de las emociones propias y de su alumnado (Engelmann y Bannert, 2021).

## Expresiones faciales y detección de emociones (FER-AI)

Tradicionalmente, la identificación de las emociones se ha llevado a cabo de forma declarativa (mediante cuestionarios, entrevistas, etc.). Sin embargo, se han planteado los posibles problemas derivados de la metacognición, que requiere determinar las emociones sentidas y los sentimientos que se deben a la deseabilidad social (Pekrun, 2006). Un segundo procedimiento ha sido el observacional. En cuanto a esta metodología, se ha reflexionado sobre la interpretación de quien observa (Barrett, 2017; Barrett et al., 2011), o se han empleado ambos procedimientos de forma complementaria (Azari et al., 2020; Loderer et al., 2019).

Estas metodologías han producido grandes avances en la identificación de las emociones epistémicas, es decir, aquellas ligadas a los procesos educativos, como la atención, la sorpresa, la frustración, la ansiedad, la alegría, el orgullo, etc. (Bellocchi y Ritchie, 2015; Laukenmann et al., 2003; Marcos-Merino et al., 2022). Sin embargo, también se han detectado las carencias específicas para el seguimiento de estas emociones a los ritmos a los que se producen las acciones de enseñanza-aprendizaje en ciencias; por ejemplo, en la identificación de hechos y magnitudes, la emisión y el contraste de hipótesis, el diseño y la realización de ensayos, etc. (Coppin y Sander, 2021; Dávila-Acedo et al., 2021; Graesser, 2020; Marcos-Merino, 2019).

Parece necesario desarrollar técnicas con una mayor resolución temporal para poder abordar el modo en que se conectan lo cognitivo y lo afectivo. Un ejemplo de estos avances es el uso del reconocimiento facial de las emociones (*facial emotion recognition* o FER) en situaciones de enseñanza y aprendizaje de ciencias (Ezquerro et al., 2022; Ezquerro et al., 2023; Liaw et al., 2021).

Los movimientos de los músculos faciales parecen acompañar a los estados afectivos, lo que implica que estas expresiones se pueden relacionar con las emociones discretas (De Gelder, 2006; Ko, 2018;

Vaessen et al., 2019). En este sentido, disponemos de un acceso fiable y coherente al componente emocional a través de las expresiones faciales. Se trata de una técnica mínimamente invasiva (Darvishi et al., 2022) y menos costosa que otros procedimientos de medida paramétrica como el electroencefalograma (EEG), las imágenes por resonancia magnética funcional (fMRI), etc.

El reconocimiento de expresiones faciales es una técnica desarrollada por Ekman y sus colaboradores a principios de los años setenta del siglo pasado (Ekman y Friesen, 1978). Esta se basa en la teoría de las emociones universales y básicas y, a pesar de las controversias actuales, parece permitir la detección de los estados afectivos de una forma medible, objetiva y racional (Schiller, 2020). La técnica es conocida como el sistema de código de acción facial (o FACS) (Ekman y Friesen, 1978).

El FACS descompone las expresiones faciales en constituyentes individuales denominados unidades de acción (UA). Cada UA se corresponde con la contracción de un grupo de músculos que, además, permite evaluar su intensidad (Barrett et al., 2019). Cada UA –o grupo de UA– determina una expresión facial y, teniendo en cuenta el entorno cultural y social del individuo analizado, puede relacionarse con un estado afectivo concreto.

La evaluación de las expresiones faciales se ha realizado habitualmente por codificadores humanos. En la actualidad, es posible recoger y analizar las expresiones faciales mediante sistemas automáticos; por ejemplo, el algoritmo Afectiva-AFFDEX SDK 4. Este *software* de reconocimiento de expresiones faciales ha permitido que el análisis de emociones esté disponible comercialmente con un alto nivel de fiabilidad y precisión (Stöckli et al., 2018).

Con los medios disponibles, el propósito general de este trabajo ha sido identificar las emociones experimentadas por el alumnado durante una actividad que colisionaba con sus conjeturas iniciales. Para ello, los objetivos específicos son:

- Conocer las conjeturas del alumnado acerca del fenómeno propuesto y su nivel de confianza.
- Identificar el flujo de emociones experimentado en tiempo real por el alumnado durante el proceso de ruptura cognitiva.
- Identificar el flujo de emociones experimentado en tiempo real por el estudiantado durante su reelaboración conceptual.

## METODOLOGÍA

El diseño de investigación supuso: 1) la elaboración del estímulo; 2) la aplicación de la actividad y la recogida de datos; y 3) el análisis de estos.

### Elaboración del estímulo

El estímulo se construyó con un conjunto de cortes, denominados *videoestímulos*, y un cuestionario de opción múltiple intercalado durante el visionado de este. En el anexo A se puede consultar su estructura completa.

Cada videoestímulo mostraba una fase de la actividad propuesta (el planteamiento de la situación, la ruptura cognitiva, la descripción del fenómeno por parte del investigador y la solicitud de explicación del fenómeno al estudiante). El cuestionario planteaba preguntas sobre las conjeturas en torno al fenómeno propuesto y el nivel de confianza.

Para la creación del estímulo se utilizó la aplicación web Edpuzzle. Esta aplicación permite exportar como hoja de cálculo las respuestas de cada participante. La figura 1 muestra la interfaz de la aplicación durante la fase de ruptura cognitiva.

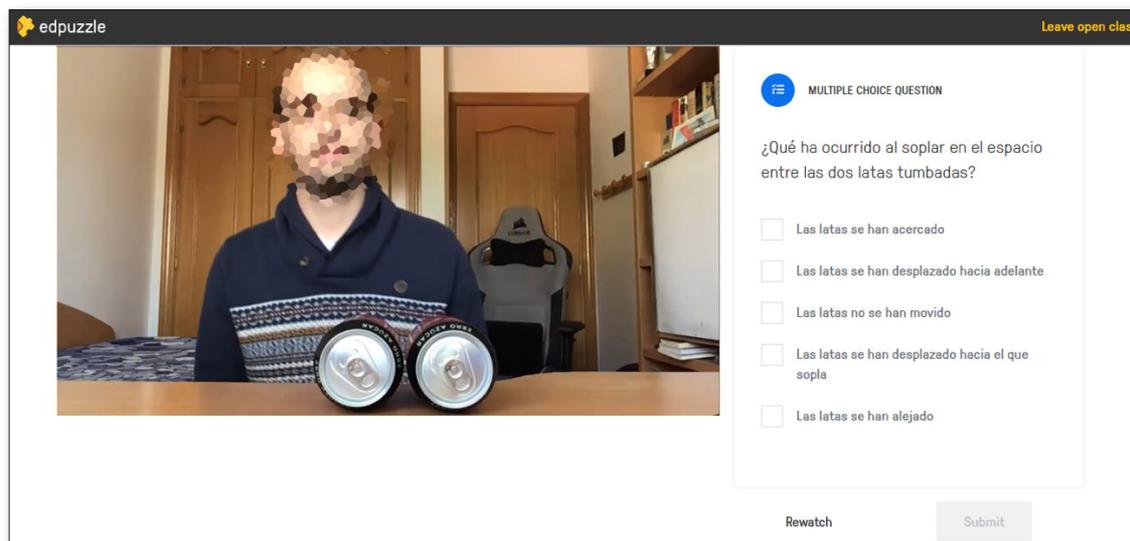


Fig. 1. Captura de pantalla de la interfaz de usuario del videoestímulo durante la fase de ruptura cognitiva.

## Aplicación de la actividad y la recogida de datos

Esta actividad fue propuesta a 16 alumnos (8 hombres y 8 mujeres) de 1.º de Bachillerato y 2.º de Bachillerato en el instituto José García Nieto de Las Rozas de Madrid, todos ellos pertenecientes a la rama de Ciencias y Tecnología.

Previamente a la realización de la actividad se pasó un consentimiento de acuerdo con la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. En este documento se describía la actividad, el propósito formativo y de investigación y el modo en que intervendrían los participantes.

Tras esta breve introducción, se situó a los distintos alumnos frente al ordenador para que atendieran al estímulo y se grabó su intervención. Esto generó un videoregistro en primer plano del rostro de cada participante. Seguidamente, se realizó la exportación de las respuestas del cuestionario y de los videoregistros.

## Análisis de datos

En este estudio hemos realizado un análisis de tipo declarativo, observacional y paramétrico. El cuestionario nos proporcionó datos de tipo declarativo. El videoregistro sirvió como fuente para realizar los análisis observacionales y paramétricos, así como de complemento a los datos declarativos.

El análisis paramétrico de las emociones se realizó con el *software* iMotions®. En primer lugar, este sistema procesa cada fotograma con el fin de detectar y caracterizar el rostro de cada participante mediante 34 puntos de referencia (dos coordenadas por punto). A partir de estos puntos calcula la distancia interocular y los ángulos de giro, balanceo e inclinación de la cabeza.

Posteriormente, los algoritmos de inteligencia artificial realizan sucesivos procesamientos para buscar la similitud entre los grafos de los marcadores faciales detectados y el conjunto de patrones de referencia almacenados. Esto permite identificar la intensidad de 20 expresiones faciales con una variación de entre 0 % (ausente) hasta un 100 % (totalmente presente). Además de los datos mencionados, iMotions® identifica cada fotograma con un número correlativo y proporciona el tiempo transcurrido desde el inicio del vídeo, suministrando así un total de 94 datos por fotograma.

Para este estudio, nuestras cámaras recogieron 30 fotogramas por segundo. Como consecuencia, por cada segundo se obtuvieron 2.820 datos. Teniendo en cuenta el número de participantes (16) y la duración de los intervalos estudiados (11 s en el caso de la ruptura cognitiva y una media de 38 s en la reelaboración conceptual), fue necesario procesar más de dos millones de datos (2.210.880) para llevar a cabo el análisis paramétrico completo.

La interpretación de esta cantidad de datos supuso un reto. Para poder llevarla a cabo, se diseñó e implementó un programa informático mediante el lenguaje de programación Python. Dicho programa utiliza la media móvil para reducir el ruido. Esta técnica estadística sustituye cada valor de la serie temporal por la media de la ventana alrededor del valor original. El uso de la media móvil requiere seleccionar factores matemáticos concretos para identificar los patrones educativos relevantes (Ezquerro et al., 2022; Ezquerro et al., 2023). Así, es necesario determinar la anchura de la ventana alrededor del valor original y la posición de este dentro de la ventana.

En concreto, utilizamos una media móvil centrada, ya que los parámetros emocionales y conductuales están influidos por el pasado reciente (por ejemplo, los retos afrontados en el proceso de aprendizaje) y modulan el comportamiento futuro (por ejemplo, impulsan la toma de decisiones de los estudiantes). Por otra parte, se consideraron ventanas con anchuras entre 0,5 y 4 s porque algunas expresiones faciales tienen duraciones que se encuentran dentro de estos periodos de tiempo (Adegun y Vadapalli, 2020). Del mismo modo, se tuvieron en cuenta las ventanas entre 12 y 45 s, dado que la duración de las acciones educativas se encuentra dentro de este rango (Lämsä et al., 2018).

En el análisis observacional, a partir de un acuerdo interjueces  $> .80$ , se valoraron cualitativamente las expresiones faciales y verbales, los movimientos corporales y las cualidades sonoras de la voz.

## RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de los tres análisis efectuados: el primero –sobre las conjeturas de cada alumno ante el fenómeno propuesto y su nivel de seguridad en las respuestas– se realizó a partir de los datos declarativos del cuestionario de opción múltiple; el segundo –sobre las emociones en el momento de la ruptura cognitiva– fue un análisis paramétrico a partir de los videoregistros; por último, el tercero –acerca de las emociones en el momento de la reelaboración de sus conjeturas– estuvo conformado por análisis paramétricos y observacionales a partir de los videoregistros de los estudiantes.

### Conjeturas del alumnado ante el fenómeno propuesto

En la fase 1 (planteamiento de la situación), la respuesta más frecuente a la pregunta 1.1 (¿Qué ocurre si se sopla en el espacio entre las dos latas tumbadas?) fue «Las latas se alejarán» (10/16 estudiantes, 62,5 %). El resto (6/16 estudiantes, 37,5 %) contestó que «Las latas no se moverán». Es importante destacar que ningún estudiante seleccionó la respuesta «Las latas se acercarán», que es lo que en realidad sucede.

En la siguiente cuestión (pregunta 1.2. ¿En qué medida estás segura/o de la respuesta seleccionada?) la mayoría (12/16 estudiantes, 75 %) contestaron que estaban «muy» o «bastante» seguros de su respuesta. Solamente tres participantes contestaron que estaban «poco» seguros. Ningún estudiante declaró estar «muy poco» seguro. Estos resultados son muy significativos. Los estudiantes no dudaron en responder a una situación a la que no se habían enfrentado antes y, además, «confiaron» en sus predicciones basadas en sus ideas previas.

La siguiente pregunta (1.3. Elige la justificación que mejor explique tu predicción) clarifica cuáles fueron las concepciones alternativas que utilizaron. Así, todos los estudiantes que contestaron «Las latas se alejarán» eligieron la explicación «Al soplar, introducimos más aire entre las latas, lo que hará que se separen» (10/16 estudiantes, 62,5 %). En cuanto a los 6 estudiantes que contestaron «Las latas no se moverán», 4 (25 %) seleccionaron como explicación «Al soplar paralelamente a las latas, el aire no va a entrar en contacto con las mismas por lo que no se van a mover» y 2 (12,5 %) indicaron que «El aire que expulsa un humano al soplar no tiene fuerza». Es interesante destacar que las 16 justificaciones hicieron alusión a la «fuerza» ejercida por el aire introducido y no a la presión. Ninguna utilizó el término presión, ni consideró la presión atmosférica existente en la parte exterior de las latas.

Una vez visto el fenómeno se preguntó a los estudiantes (preguntas 2.1 y 2.2): «¿Qué ha ocurrido al soplar en el espacio entre las dos latas tumbadas?» y «¿En qué medida estás segura/o de tu respuesta?». Todos los estudiantes afirmaron que las latas se habían acercado después de soplar entre ellas. Es decir, todos reconocieron el hecho. Respecto al grado de seguridad de esta respuesta, la mayoría de los estudiantes (14/16 estudiantes, 87,5 %) contestó que estaban muy seguros. Sin embargo, un estudiante indicó que estaba «bastante» seguro y otro, «poco» seguro. Esto último es significativo y parece anteponer sus concepciones alternativas a la evidencia de un hecho que las contradice.

Las siguientes cuestiones recogieron las posibles explicaciones del fenómeno (pregunta 2.3) y la seguridad en las razones esgrimidas (pregunta 2.4). La lista de posibles explicaciones fue la misma que la propuesta en la primera predicción. La mayoría (10/16 estudiantes, 62,50 %) eligieron la explicación correcta en la lista de respuestas: «Al soplar, disminuirá la presión entre las latas, lo que hace que se acerquen empujadas por la presión de fuera». Las respuestas de los seis estudiantes restantes se dividieron entre «Al soplar, quitaremos el aire entre las latas y esto hará que se acerquen» (3/16 estudiantes, 18,75 %) y «Al soplar aumenta la presión entre las latas, siendo empujadas ligeramente hacia fuera, pero dado que éstas tienden a volver a su estado original, terminarán por acercarse» (3/16 estudiantes, 18,75 %). Las dos primeras respuestas mencionadas trataban de explicar el fenómeno acomodándose a los hechos e introduciendo el concepto de presión. La última respuesta, aunque también incluye esta última noción, parece seguir manteniendo algo de la concepción alternativa «Las latas se van a separar después de soplar».

Respecto a su grado de seguridad con la explicación proporcionada, 8 estudiantes (50 %) declararon estar «bastante» seguros y 2 (12,5 %) afirmaron que estaban «muy» seguros. Parece bastante sorprendente que 10 estudiantes mostraran tal grado de confianza en una respuesta que acababa de ser asumida. Por el contrario, 5 participantes (31 %) dijeron estar «poco» seguros, y uno contestó que estaba «muy poco» seguro.

Para ahondar más en la seguridad en la nueva explicación, se pidió a cada estudiante que explicara con sus palabras el fenómeno que acababa de presenciar. Después, se preguntó por el grado de seguridad sobre la explicación proporcionada (pregunta 4.1). En esta ocasión, solo cinco estudiantes (31 %) contestaron que estaban muy seguros de la explicación proporcionada. Mientras que la mayoría (11/16 estudiantes, 69 %) no confiaron en la explicación que habían proporcionado. En particular, 7 estudiantes (44 %) contestaron que estaban algo seguros, 2 (12,5 %) que estaban «poco» seguros y otros 2 (12,5 %) que estaban muy poco seguros.

Parece que la seguridad mostrada en la respuesta marcada (pregunta 2.4) se diluyó cuando se enfrentaron a una explicación más personal (pregunta 4.1). En los análisis subsiguientes se podrá observar la diferencia entre elegir entre un listado de respuestas (donde parecía «fácil» marcar una posible opción cierta), y enfrentarse cognitiva y emocionalmente a verbalizar las razones que explican el fenómeno.

### Análisis paramétrico de las emociones en el momento de la ruptura cognitiva

En este apartado se muestran los resultados del análisis paramétrico de las emociones durante la ruptura cognitiva. Para ello, consideramos un intervalo de tiempo de 11 s desde el segundo previo al momento en el que se sopla entre las latas por primera vez y hasta 10 s después de este instante.

Las emociones que detectamos en el intervalo estudiado fueron dos: sorpresa y disgusto. Estas emociones fueron determinadas a partir de las expresiones faciales detectadas por el software iMotions®. La asociación entre expresiones faciales y emociones que utilizamos en nuestro estudio se ha realizado a partir de la bibliografía científica habitual y ha sido también comprobada mediante el análisis observacional de las grabaciones.

La sorpresa viene caracterizada por una o varias de estas expresiones en función de la expresividad del individuo (Barrett et al., 2019; Ekman et al., 2002): levantamiento de cejas, caída de mandíbula, boca abierta y ojos abiertos.

Por otra parte, el disgusto está caracterizado por una o varias de las siguientes expresiones faciales, dependiendo de la intención comunicativa de cada individuo en un momento determinado (Barrett et al., 2019; Ekman et al., 2002): sonrisa forzada, presionar los labios, humedecer labios, estirar los labios, fruncir el labio y levantamiento interior de cejas.

El análisis de los flujos emocionales en el intervalo estudiado ha permitido clasificar a los 16 estudiantes en tres grupos en función de su tipo de respuesta (Sorpresa, Disgusto y Sorpresa + Disgusto).

El grupo Sorpresa está formado por 9 estudiantes (53 %). En la figura 2 mostramos los datos paramétricos de las expresiones faciales de un estudiante de este grupo (con levantamiento de cejas y boca abierta). Ambos gestos coincidieron en el tiempo, comenzaron en el segundo 1,5 tras el choque de las latas y desaparecieron después del segundo 6. Esta respuesta de sorpresa parece relacionada con la disonancia entre lo ocurrido y la predicción del estudiante.

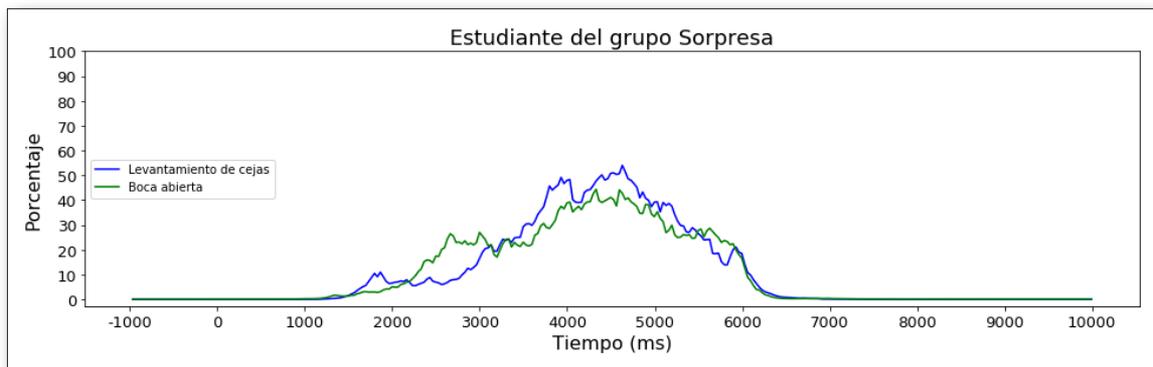


Fig. 2. Expresiones faciales de un estudiante del grupo Sorpresa durante la ruptura cognitiva.

La reacción de disgusto se dio en un grupo de 3 estudiantes (22 %). En la reacción de un estudiante de este grupo (figura 3), las expresiones de disgusto comenzaron en el segundo 2 después del primer choque de las latas y se mantuvieron hasta el final del intervalo estudiado. Las expresiones faciales fueron, en este caso: estirar los labios, fruncir los labios, levantar interiormente las cejas y humedecer los labios. Los integrantes de este grupo parecen mostrar rechazo ante la idea de haber fallado en la predicción. De hecho, dos de los cuatro participantes comienzan su reacción con una queja.

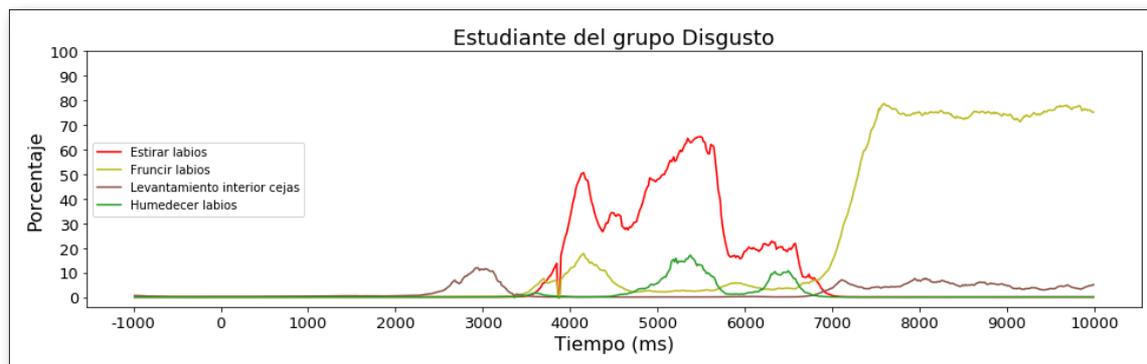


Fig. 3. Expresiones faciales de un estudiante del grupo Disgusto durante la ruptura cognitiva.

El grupo que expresó Sorpresa + Disgusto lo formaron 4 estudiantes (25 %). La figura 4 muestra los datos paramétricos de un estudiante. La sorpresa viene marcada con la expresión facial de levantamiento de cejas en el segundo 2 después del choque y desaparece más tarde en el segundo 4. Las muestras de disgusto (fruncir los labios, en este caso) se inician en el segundo 3 y continúan hasta el final del intervalo estudiado.

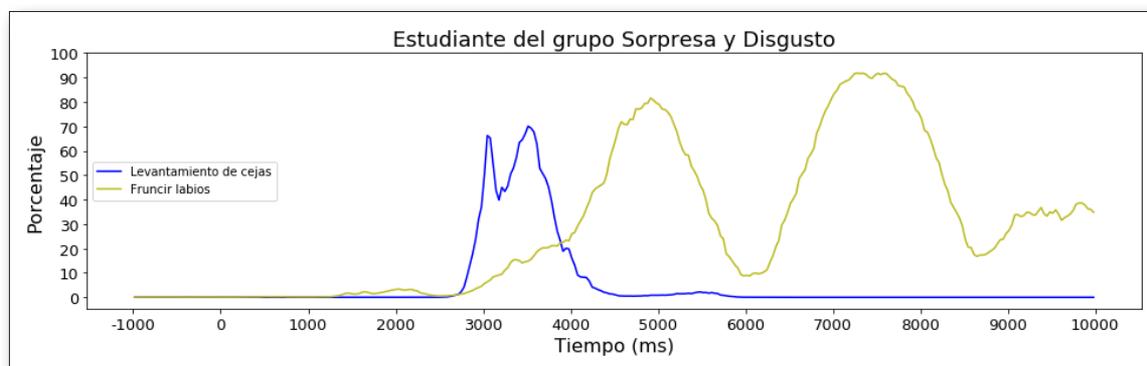


Fig. 4. Expresiones faciales de un estudiante del grupo Sorpresa + Disgusto durante la ruptura cognitiva.

Resulta interesante observar que la sorpresa apareció y desapareció en un intervalo de tiempo corto (figuras 2 y 4), mientras que el disgusto tardó más en expresarse y no llegó a atenuarse en el intervalo observado (figuras 3 y 4).

### Estudio de las emociones en el momento de la reelaboración

En este apartado, se estudian las emociones experimentadas por los estudiantes cuando tuvieron que explicar el fenómeno con sus propias palabras, justo después de escuchar la explicación que proporciona el investigador en el vídeo.

El estudio supuso la agregación de dos análisis: paramétrico y observacional. El intervalo de tiempo analizado tiene como inicio el instante en el que finaliza la pregunta del videoestímulo, «¿Podrías explicar con tus propias palabras el fenómeno que acabas de presenciar?» (Fase IV – Anexo I), y como final el momento en el que el estudiante termina su explicación.

Las emociones que aparecieron en cada estudiante durante las explicaciones fueron las mismas que en el intervalo de ruptura cognitiva: sorpresa y disgusto. Esto nos permitió mantener las agrupaciones

iniciales que se dieron en el momento de la ruptura cognitiva, es decir, grupo Sorpresa, grupo Disgusto y grupo Sorpresa + Disgusto.

En el grupo Sorpresa se observó que las expresiones características comenzaron desde el primer momento y se mantuvieron en niveles muy altos durante toda la explicación. En la figura 5 se muestran las expresiones faciales (levantamiento de cejas y ojos abiertos) de un participante de este grupo. Es interesante comprobar que los valores máximos se alcanzaron sobre el segundo 24, cuando el participante subrayaba el «sorprendente» comportamiento de las latas.

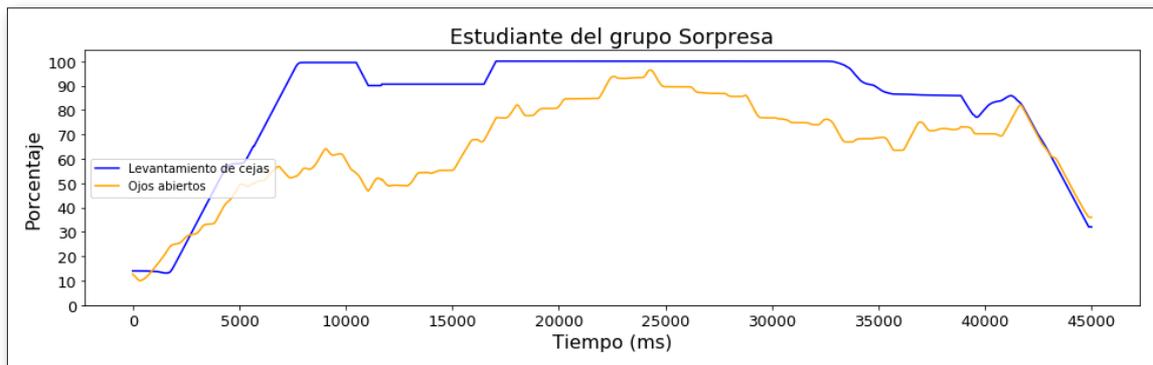


Fig. 5. Expresiones faciales de un estudiante del grupo Sorpresa en el momento de su explicación del fenómeno.

El análisis observacional confirmó que la sorpresa fue muy notable durante toda la explicación y alcanzó el máximo cuando el estudiante dijo: «Cuando tú soplas y lo desplazas [el aire que hay entre las dos latas] la presión interna va a disminuir». Además, se observó que la intensidad de la voz del estudiante alcanzó un máximo en este mismo instante (segundo 24). Lo que el estudiante indicó en este momento es clave para la comprensión del fenómeno, pues la diferencia de presión entre el interior y el exterior de las dos latas es lo que explica que las dos latas se junten. De hecho, varios participantes simulaban la posición de las latas con sus manos y terminaron por golpear ambos apéndices como lo hicieron las latas.

El grupo Disgusto lo podemos representar con la figura 6 (con las reacciones de apretar los labios, estirar los labios, fruncir los labios, humedecer los labios y levantar interiormente las cejas). En los primeros segundos, el estudiante estuvo callado, mientras se preparaba para contestar la pregunta. Aquí aparecieron las primeras expresiones de disgusto (estirar los labios y levantar interiormente las cejas). Resulta muy interesante observar que los valores más altos se produjeron a partir del segundo 11, cuando el estudiante estaba detallando su explicación, y que estos se mantuvieron hasta el final de la intervención. Es decir, el enfado permaneció después de la explicación, a diferencia de la sorpresa de la figura anterior (figura 5), que desapareció una vez que la explicación del participante había terminado.

El análisis observacional mostró que el estudiante comenzó su explicación en el segundo 11 y terminó en el segundo 25. El momento más destacado fue cuando indicó: «Al soplar, la fuerza hace que la presión disminuya, por lo que las latas se acercan». La palabra *presión* se pronunció en el segundo 15 y coincidió con el máximo valor de la expresión de levantamiento interior de cejas y con la acción de tragar saliva, que enfatizó la muestra de disgusto del estudiante. También se pudo observar que la intensidad de la voz del estudiante descendió de manera notable al pronunciar la palabra *presión*. Indiquemos que el concepto de presión, clave para comprender el fenómeno, fue omitido por este individuo cuando realizó la primera predicción. Otros participantes representaron la presión abriendo y cerrando sus brazos y simulando que empujaban las latas.

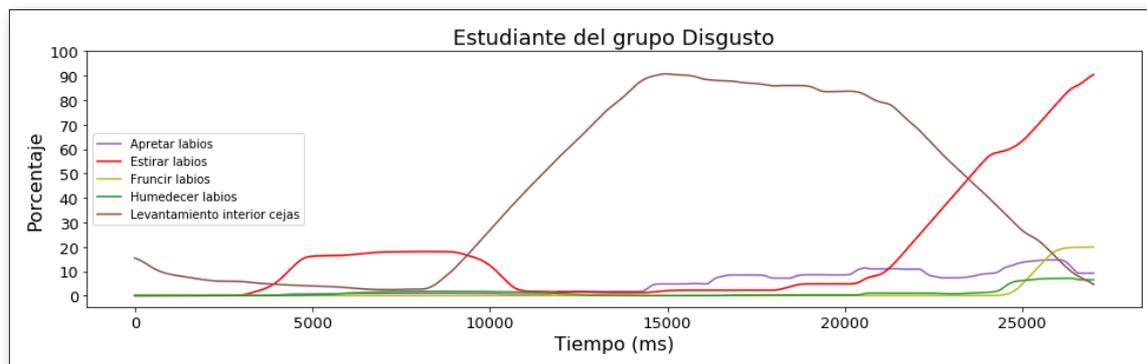


Fig. 6. Expresiones faciales de un estudiante del grupo Disgusto en el momento de su explicación del fenómeno.

El comportamiento del grupo Sorpresa + Disgusto puede representarse por la figura 7. Las expresiones de sorpresa (levantar las cejas y abrir más los ojos) estuvieron presentes mientras el estudiante estuvo hablando. Así, se observan dos ascensos y descensos que se corresponden con las dos partes de la respuesta. En la primera (entre los segundos 10 y 30), proporcionó una explicación completa del fenómeno, mientras que en la segunda (entre los segundos 35 y 45) enfatizó que lo que hizo que las latas se juntasen fue la diferencia de presiones a un lado y otro de las dos latas.

Las expresiones de disgusto (apretar los labios, estirarlos y humedecerlos, así como levantar el interior de las cejas) aparecieron en dos momentos del intervalo estudiado: antes de que el estudiante comenzara a hablar, mientras estaba pensando lo que iba a decir (antes del segundo 10), y cuando finalizó la explicación del fenómeno. Es relevante observar que también aquí las expresiones de disgusto continuaron una vez concluida la explicación.

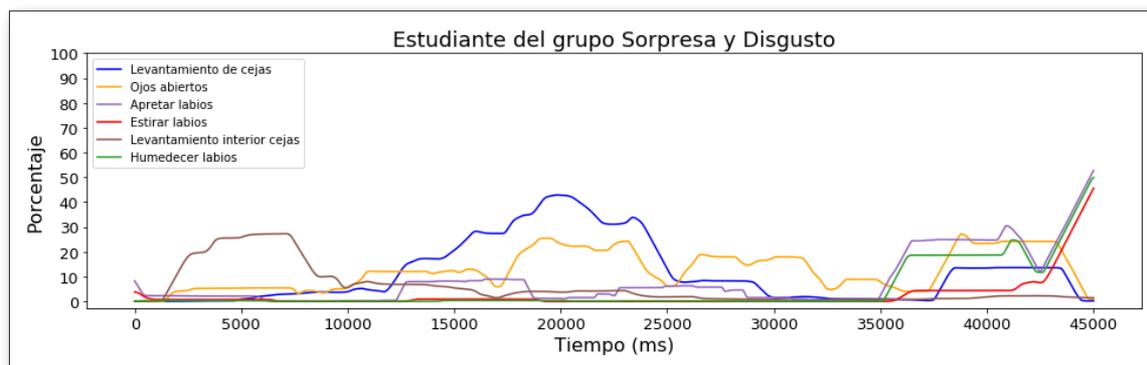


Fig. 7. Expresiones faciales de un estudiante del grupo Sorpresa + Disgusto en el momento de su explicación del fenómeno.

## DISCUSIÓN

El estudio realizado recoge un primer análisis declarativo sobre las conjeturas iniciales, otro sobre el momento de la observación del fenómeno y, finalmente, el examen de la reestructuración de sus hipótesis.

Respecto a las conjeturas iniciales del alumnado, se han podido recoger algunos resultados muy relevantes. Los estudiantes no dudaron en responder a una situación a la que no se habían enfrentado antes y lo hicieron con «confianza». Esta conducta, si es general, implicaría que nuestro alumnado se siente capaz y seguro de dar respuesta a situaciones nuevas sobre la base de sus ideas previas. Algo que

podría inhibir su curiosidad, dado que considerarían «conocidos» los comportamientos de las cosas. Por otra parte, esta posición previa (su supuesto conocimiento y seguridad) sitúa al alumnado ante un «choque» con los hechos que contradicen sus conjeturas. En este sentido, parece prudente tener cuidado con el tratamiento de nuevos fenómenos. Es decir, antes de tratar un fenómeno no considerado previamente, parece pertinente recoger qué indica el alumnado con respecto a la situación y cómo la describe y considerar así su nivel de seguridad en las afirmaciones expuestas. Esto nos permitirá hacer aflorar sus concepciones alternativas y anticiparnos a su posible choque emocional. Tras la observación del fenómeno, parece especialmente interesante, según lo visto aquí, considerar qué emociones se han generado y el efecto que este motor afectivo ha causado.

Respecto al análisis de los estudiantes en el momento de la observación del fenómeno, parece que el contraste de sus conjeturas con la realidad les condujo a un desequilibrio brusco de sus ideas previas, es decir, a una ruptura de la estructura cognitiva que antes explicaba el fenómeno. Este impacto fue acompañado de cambios muy intensos en sus expresiones emocionales. En nuestra muestra, la sincronización entre emociones y cuestiones cognitivas determinó tres comportamientos específicos. Bajo la perspectiva del cambio conceptual cálido, estos resultados suponen un estímulo para continuar indagando en la vinculación entre la dimensión afectiva y epistémica en los distintos momentos de este complejo proceso.

Respecto al estudio de la explicación del fenómeno, se ha observado que los estudiantes representaron la forma de las latas con las manos o simulaban la presión del aire con los brazos mientras narraban verbalmente los hechos. Parece que los sujetos buscaron recuperar la información del modo en que el fenómeno propuesto fue vivido tanto cognitiva como emocionalmente. En paralelo, los datos de las expresiones recogidas en esta rememoración parecen repetir las mismas emociones sentidas. Es decir, la activación de la imaginación mental parece situarlos en el mismo instante de la observación y, por tanto, activar expresiones emocionales semejantes a aquellas. Esto es muy relevante, puesto que muestra una imbricación entre las expresiones afectivas (expresiones faciales, movimientos corporales e intensidad de la voz) y las cuestiones cognitivas.

Es más, los elementos cognitivos que el individuo sintió como claves y que quiso destacar fueron especialmente subrayados con expresiones emocionales; pero no con cualquier emoción, sino con aquellas vividas y sentidas en el momento de producirse la disonancia. Esto tiene importantes implicaciones educativas: supondría que cuando explicamos un fenómeno natural estaríamos cargando los hechos con emociones, en concreto, con nuestras emociones. Así, destacaríamos expresivamente lo primordial del fenómeno a nuestro parecer frente a lo superfluo también para nosotros.

En este sentido, la cognición estaría encapsulada, o encarnada, en un *pack* que incluye emoción, gestualidad y cognición de manera indisoluble (Rowlands, 2010) tanto en los estudiantes como en los docentes. Esto nos hace pensar que se deberían considerar estos principios instruccionales para el diseño de entornos de aprendizaje (Black et al., 2012).

Por otra parte, respecto a la metodología de análisis paramétrico de las emociones utilizada aquí, parece conveniente considerar sus debilidades y sus fortalezas. Es evidente que estamos ante un procedimiento novedoso con pocos antecedentes (Ezquerra et al., 2022; Ezquerra et al., 2023; Liaw et al., 2021) y que aún no ha podido desplegar todo su potencial. En este estudio, por ejemplo, hemos podido analizar ciertas emociones epistémicas de intereses a través de sus correspondientes expresiones faciales. Sin embargo, la literatura indica que otras emociones como la ansiedad también juegan un papel importante en el aprendizaje (Bellocchi y Ritchie, 2015; Pekrun et al., 2011). Parece interesante, por tanto, plantearse la búsqueda de otros posibles vínculos entre las emociones epistémicas y sus correspondientes expresiones faciales.

Además, el tratamiento de los datos paramétricos también debe ser trabajado y adaptado a las necesidades de la investigación educativa. Indiquemos que el flujo de información para cada participante

fue de unos 169.200 datos por minuto (94 entradas/imagen × 30 imágenes/segundo × 60 s/min). Este esfuerzo debería centrarse en incrementar nuestra resolución temporal en la observación de los vínculos entre las acciones educativas (como la observación de un fenómeno, la realización o la respuesta a una pregunta) y las emociones epistémicas vinculadas.

En cualquier caso, en el estado actual de la técnica, hemos conseguido desarrollar un procedimiento operativo y aplicable a una amplia gama de situaciones de enseñanza. Esto nos ha permitido recoger de modo síncrono los aspectos conceptuales y afectivos en los momentos más significativos del proceso de emisión y contraste de conjeturas, así como cuando los participantes reflexionaban y trataban de reconstruir sus ideas sobre el fenómeno observado.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto PR3/23-30815: Artificial Intelligence to Identify Emotions and Behaviours in Teaching and Learning Processes in Sciences, financiado por la Universidad Complutense de Madrid (España).

## REFERENCIAS

- Adegun, I. P. y Vadapalli, H. B. (2020). Facial micro-expression recognition: A machine learning approach. *Scientific African*, 8, e00465.  
<https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00465>
- Azari, B., Westlin, C., Satpute, A. B., Hutchinson, J. B., Kragel, P. A., Hoemann, K., Khan, Z., Wormwood, J. B., Quigley, K. S., Erdogmus, D., Dy, J., Brooks, D. H. y Barrett, L. F. (2020). Comparing supervised and unsupervised approaches to emotion categorization in the human brain, body, and subjective experience. *Scientific Reports*, 10(1), 20284.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-77117-8>
- Barrett, L. F. (2017). The theory of constructed emotion: an active inference account of interoception and categorization. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 12(1), 1-23.  
<https://doi.org/10.1093/scan/nsw154>
- Barrett, L. F., Adolphs, R., Marsella, S., Martinez, A. M. y Pollak, S. D. (2019). Emotional Expressions Reconsidered: Challenges to Inferring Emotion From Human Facial Movements. *Psychological Science in the Public Interest*, 20(1).  
<https://doi.org/10.1177/1529100619832930>
- Barrett, L. F., Mesquita, B. y Gendron, M. (2011). Context in Emotion Perception. *Current Directions in Psychological Science*, 20(5), 286-290.  
<https://doi.org/10.1177/0963721411422522>
- Bellocchi, A. (2019). Early career science teacher experiences of social bonds and emotion management. *Journal of Research in Science Teaching*, 56(3), 322-347.  
<https://doi.org/10.1002/tea.21520>
- Bellocchi, A. y Ritchie, S. M. (2015). «I Was Proud of Myself That I Didn't Give Up and I Did It»: Experiences of Pride and Triumph in Learning Science. *Science Education*, 99(4), 638-668.  
<https://doi.org/10.1002/sc.21159>
- Black, J. B., Segal, A., Vitale, J. M. y Fadjo, C. L. (2012). Embodied cognition and learning environment design. En S. Land y D. Jonassen (Eds.), *Theoretical foundations of learning environments* (pp. 198-223). Routledge.  
<https://doi.org/10.4324/9781410603203>

- Borrachero, A. B., Brígido, M., Mellado, L., Costillo, E. y Mellado, V. (2014). Emotions in prospective secondary teachers when teaching science content, distinguishing by gender. *Research in Science and Technological Education*, 32(2), 182-215. <https://doi.org/10.1080/02635143.2014.909800>
- Brun, G., Doguoglu, U. y Kuenzle, D. (2016). *Epistemology and Emotions*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315580128>
- Coppin, G. y Sander, D. (2021). Theoretical approaches to emotion and its measurement. En H. Meiselman (Ed.), *Emotion Measurement* (pp. 3-37). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821124-3.00001-6>
- Darvishi, A., Khosravi, H., Sadiq, S. y Weber, B. (2022). Neurophysiological Measurements in Higher Education: A Systematic Literature Review. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 32(2), 413-453. <https://doi.org/10.1007/s40593-021-00256-0>
- Dávila-Acedo, M. A., Cañada, F., Sánchez-Martín, J., Airado-Rodríguez, D. y Mellado, V. (2021). Emotional performance on physics and chemistry learning: the case of Spanish K-9 and K-10 students. *International Journal of Science Education*, 43(6), 823-846. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1889069>
- De Gelder, B. (2006). Towards the neurobiology of emotional body language. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(3), 242-249. <https://doi.org/10.1038/nrn1872>
- Delors, J. (1996). *Learning: the treasure within. Report to UNESCO of the international commission on education for the twenty-first century*.
- Dolan, R. J. (2002). Emotion, Cognition, and Behavior. *Science*, 298(5596). <https://doi.org/10.1126/science.1076358>
- Driver, R. y Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5(1). <https://doi.org/10.1080/03057267808559857>
- Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. (1985). *Children's ideas in science*. Open University Press.
- Duit, R. (1999). Conceptual Change Approaches in Science Education. En *New perspectives on conceptual change*.
- Ekman, P. y Friesen, W. V. (1978). Facial Action Coding System. *Palo Alto CA Consulting*, (2). Consulting Psychologists Press.
- Ekman, P., Friesen, W. V. y Hager, J. C. (2002). *The facial action coding system CD-ROM*. Research Nexus.
- Engelmann, K. y Bannert, M. (2021). Analyzing temporal data for understanding the learning process induced by metacognitive prompts. *Learning and Instruction*, 72(2021), 101205. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.05.002>
- Ezquerra, A., Agen, F., Rodríguez-Arteche, I. y Ezquerra-Romano, I. (2022). Integrating Artificial Intelligence into Research on Emotions and Behaviors in Science Education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(4), em2099. <https://doi.org/10.29333/ejmste/11927>
- Ezquerra, A., Agen, F., Toma, R. B. y Ezquerra-Romano, I. (2023). Using applying facial emotion recognition to research emotional phases in an inquiry-based science activity. *Research in Science & Technological Education*, 1-24. <https://doi.org/10.1080/02635143.2023.2232995>

- Fernández-Carro, R., Vílchez, J. E., Vílchez-González, J. M. y Ezquerro, A. (2023). Multivariate Analysis of Beliefs in Pseudoscience and Superstitions Among Pre-service Teachers in Spain. *Sci & Educ*, 32(4), 909-925.  
<https://doi.org/10.1007/s11191-022-00354-y>
- Fredricks, J. A. (2011). Engagement in School and Out-of-School Contexts: A Multidimensional View of Engagement. *Theory Into Practice*, 50(4), 327-335.  
<https://doi.org/10.1080/00405841.2011.607401>
- Graesser, A. C. (2020). Emotions are the experiential glue of learning environments in the 21st century. *Learning and Instruction*, 70(2020), 101212.  
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.05.009>
- Jeong, J. S., González-Gómez, D. y Cañada-Cañada, F. (2016). Students' Perceptions and Emotions Toward Learning in a Flipped General Science Classroom. *Journal of Science Education and Technology*, 25(5), 747-758.  
<https://doi.org/10.1007/s10956-016-9630-8>
- Ko, B. C. (2018). A brief review of facial emotion recognition based on visual information. *Sensors (Switzerland)*, 18(2), 401.  
<https://doi.org/10.3390/s18020401>
- Lämsä, J., Hämäläinen, R., Koskinen, P. y Viiri, J. (2018). Visualising the temporal aspects of collaborative inquiry-based learning processes in technology-enhanced physics learning. *International Journal of Science Education*, 40(14), 1697-1717.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1506594>
- Laukenmann, M., Bleicher, M., Fu, S., Gläser-Zikuda, M., Mayring, P. y von Rhöneck, C. (2003). An investigation of the influence of emotional factors on learning in physics instruction. *International Journal of Science Education*, 25(4), 489-507.  
<https://doi.org/10.1080/09500690210163233>
- Liaw, H., Yu, Y. R., Chou, C. C. y Chiu, M. H. (2021). Relationships between Facial Expressions, Prior Knowledge, and Multiple Representations: a Case of Conceptual Change for Kinematics Instruction. *Journal of Science Education and Technology*, 30(2), 227-238.  
<https://doi.org/10.1007/s10956-020-09863-3>
- Loderer, K., Pekrun, R. y Plass, J. L. (2019). Emotional Foundations of Game-based Learning. En J. L. Plass, E. Richard, R. E. Mayery B. D. Homer (Eds.), *The Handbook of Game-based Learning* (pp. 111-151). MIT Press.
- Lombardi, D. y Sinatra, G. M. (2013). Emotions about teaching about human-induced climate change. *International Journal of Science Education*, 35(1), 167-191.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2012.738372>
- Marcos-Merino, J. M. (2019). Análisis de las relaciones emociones-aprendizaje de maestros en formación inicial con una práctica activa de Biología. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 16(1), 1603.  
[https://doi.org/10.25267/rev\\_eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2019.v16.i1.1603](https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i1.1603)
- Marcos-Merino, J. M., Esteban Gallego, M. R. y Gómez Ochoa de Alda, J. A. (2022). Conocimiento previo, emociones y aprendizaje en una actividad experimental de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 40(1).  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3361>
- Matusovich, H. y McCord, R. (2012). Work in progress: Does motivation matter for conceptual change? exploring the implications of «hot cognition» on conceptual learning. *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE*.  
<https://doi.org/10.1109/FIE.2012.6462394>

- McCloskey, M. (1983). Intuitive physics. *Scientific American*, 284(4), 122-130.
- McLeod, D. B. (1992). Research on affect in mathematics education: A reconceptualization. En D. A. Grouws (Ed.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 575-595). Macmillan.
- Mellado Jiménez, V., Borrachero, A. B., Brígido, M., Melo, L. V., Dávila, M. A., Cañada, F., Conde, M. C., Costillo, E., Cubero, J., Esteban, R., Martínez, G., Ruiz, C., Sánchez, J., Garritz, A., Mellado, L., Vázquez, B., Jiménez, R. y Bermejo, M. L. (2014). Las emociones en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 32(3). <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1478>
- Murphy, P. K. y Alexander, P. A. (2008). The role of knowledge, beliefs, and interest in the conceptual change process: A synthesis and meta-analysis of the research. En *International handbook of research on conceptual change*.
- Novak, J. y Mintzes, J. J. (1988). *Enseñanza de las Ciencias para Entendimiento*. Academic Press.
- Pekrun, R. (2006). The control-value theory of achievement emotions: Assumptions, corollaries, and implications for educational research and practice. *Educational Psychology Review*, 18(4), 315-341. <https://doi.org/10.1007/s10648-006-9029-9>
- Pekrun, R., Goetz, T., Frenzel, A. C., Barchfeld, P. y Perry, R. P. (2011). Measuring emotions in students' learning and performance: The Achievement Emotions Questionnaire (AEQ). *Contemporary Educational Psychology*, 36(1), 36-48. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2010.10.002>
- Pekrun, R. y Linnenbrink-Garcia, L. (2014). International handbook of emotions in education. En *International Handbook of Emotions in Education*. <https://doi.org/10.4324/9780203148211>
- Piaget, J. y García, R. (1973). *Las explicaciones causales*. Barral Editores.
- Pintrich, P. R., Marx, R. W. y Boyle, R. A. (1993). Beyond Cold Conceptual Change: The Role of Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in the Process of Conceptual Change. *Review of Educational Research*, 63(2). <https://doi.org/10.3102/00346543063002167>
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. y Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2). <https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>
- Pozo, J. I. y Carretero, M. (1987). Del Pensamiento Formal a las Concepciones Espontáneas: ¿Qué Cambia en la Enseñanza de la Ciencia?». *Infancia y Aprendizaje*, 10(38), 35-52. <https://doi.org/10.1080/02103702.1987.10822161>
- Pozo, J. I., del Puy Pérez, M., Sanz, A. y Limón, M. (1992). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia como teorías implícitas. *Infancia y Aprendizaje*, 15(57). <https://doi.org/10.1080/02103702.1992.10822321>
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. Á. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Ediciones Morata.
- Rivière, A. (1991). *Objetos con mente*. Alianza.
- Rowlands, M. (2010). *The new science of the mind*. The MIT Press.
- Schiller, D. (2020). For Now We See through an AI Darkly; but Then Face-to-Face: A Brief Survey of Emotion Recognition in Biometric Art. *Przegląd Kulturoznawczy*, 3(45), 230-260. <https://doi.org/10.4467/20843860PK.20.025.12585>
- Schnotz, W., Vosniadou, S. y Carretero, M. (Eds.). (1999). *New perspectives in conceptual change research*. Elsevier.

- Sinatra, G. M. y Taasoobshirazi, G. (2018). The Self-Regulation of Learning and Conceptual Change in Science. En D. H. Schunk y J. A. Greene (Eds.), *Handbook of Self-Regulation of Learning and Performance* (pp. 153-165). Routledge.  
<https://doi.org/10.4324/9781315697048-10>
- Stöckli, S., Schulte-Mecklenbeck, M., Borer, S. y Samson, A. C. (2018). Facial expression analysis with AFFDEX and FACET: A validation study. *Behavior Research Methods*, 50(4), 1446-1460.  
<https://doi.org/10.3758/s13428-017-0996-1>
- Taber, K. S. (2017). The Nature of Student Conceptions in Science. En K. S. Taber y B. Akpan (Eds.), *Science Education* (pp. 119-131). SensePublishers.  
[https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8\\_9](https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8_9)
- Tomasello, M. (2019). The Cultural Origins of Human Cognition. En *The Cultural Origins of Human Cognition*. Harvard University Press.  
<https://doi.org/10.2307/j.ctvjsf4jc>
- Tytler, R. y Osborne, J. (2012). Student attitudes and aspirations towards science. En *Second International Handbook of Science Education* (pp. 597-625).
- Vaessen, M., Van der Heijden, K. y de Gelder, B. (2019). Decoding of emotion expression in the face, body and voice reveals sensory modality specific representations. *bioRxiv*, 869578.  
<https://doi.org/10.1101/869578>
- Vázquez Alonso, A. y Manassero Mas, M. A. (2009). Expectativas sobre un trabajo futuro y vocaciones científicas en estudiantes de educación secundaria. *Revista electrónica de investigación educativa*, 11(1), 1-20.
- Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1(2).  
<https://doi.org/10.1080/0140528790010209>
- Vosniadou, S. (Ed.). (2008). *International Handbook of Research on Conceptual Change*. Routledge.  
<https://doi.org/10.4324/9780203874813>
- Vosniadou, S., Vamvakoussi, X. y Skopeliti, I. (2008). The framework theory approach to the problem of conceptual change. En *International handbook of research on conceptual change* (February 2019).
- West, L. H. T. y Pines, A. L. (1985). Cognitive structure and conceptual change. En *Educational Psychology*. Academic Press.

## ANEXO A. PREGUNTAS DEL CUESTIONARIO DEL ESTÍMULO

<p><i>Fase 1. Planteamiento de la situación</i></p> <p>Un investigador presenta dos latas de refresco sin abrir. A continuación, las latas se colocan en una mesa en posición horizontal y paralelas entre sí, dejando un pequeño espacio entre ambas. En este momento, el investigador simula soplar entre las latas y se plantean las preguntas siguientes.</p> <p><i>Objetivos de la fase 1</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Conocer las concepciones alternativas de los participantes con respecto al fenómeno a estudiar y su nivel de confianza con respecto a estas.</li> </ul>	
<p><i>Pregunta 1.1</i> ¿Qué ocurre si se sopla en el espacio entre las dos latas tumbadas?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Las latas no se moverán.</li> <li>– Las latas se desplazarán hacia adelante.</li> <li>– Las latas se acercarán.</li> <li>– Las latas se desplazarán hacia el que sopla.</li> <li>– Las latas se alejarán.</li> </ul>
<p><i>Pregunta 1.2</i> ¿En qué medida estás segura/o de la respuesta seleccionada?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Muy poco</li> <li>– Poco</li> <li>– Algo</li> <li>– Mucho</li> </ul>
<p><i>Pregunta 1.3</i> Elige la justificación que mejor explique tu predicción.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Al soplar, introducimos más aire entre las latas, lo que hará que se separen.</li> <li>– Al soplar disminuirá la presión entre las latas, lo que hace que se acerquen empujadas por la presión de fuera.</li> <li>– Al soplar paralelamente a las latas, el aire no va a entrar en contacto con estas, por lo que no se van a mover.</li> <li>– Al soplar, el aire hará que las latas se desplacen hacia delante.</li> <li>– El aire rebota en las latas y las atrae hacia quien sopla.</li> <li>– Al soplar aumenta la presión entre las latas, siendo empujadas ligeramente hacia fuera, pero dado que estas tienden a volver a su estado original, terminarán por acercarse.</li> <li>– Al soplar, quitaremos el aire entre las latas y esto hará que se acerquen.</li> <li>– El aire que expulsa un humano al soplar no tiene fuerza y por tanto no produce ningún movimiento en las latas.</li> </ul>
<p><i>Fase 2. Ruptura cognitiva</i></p> <p>El investigador sopla en el espacio entre las dos latas, lo que desencadena que estas se acerquen entre sí y se choquen. Tras este hecho, se realizan las siguientes preguntas.</p> <p><i>Objetivos de la fase 2</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Registrar las respuestas del alumnado en el momento en el que enfrentaba la disonancia entre la predicción que había realizado y lo que había ocurrido.</li> </ul>	

<p><i>Pregunta 2.1</i> ¿Qué ha ocurrido al soplar en el espacio entre las dos latas tumbadas?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Las latas no se han movido.</li> <li>– Las latas se han desplazado hacia adelante.</li> <li>– Las latas se han acercado.</li> <li>– Las latas se han desplazado hacia el que sopla.</li> <li>– Las latas se han alejado.</li> </ul>
<p><i>Pregunta 2.2</i> ¿En qué medida estás segura/o de la respuesta seleccionada?</p>	<p>Misma lista de respuestas que la pregunta 1.2.</p>
<p><i>Pregunta 2.3</i> ¿Por qué crees que ha pasado esto?</p>	<p>Misma lista de respuestas que la pregunta 1.3.</p>
<p><i>Pregunta 2.4</i> ¿En qué medida estás segura/o de la respuesta seleccionada?</p>	<p>Misma lista de respuestas que la pregunta 1.2.</p>
<p><i>Fase 3. Explicación del fenómeno por parte del investigador</i></p> <p>Se observa de nuevo el fenómeno presentado en la fase 1, un investigador sopla en el espacio entre dos latas tumbadas y después estas se acercan entre sí y chocan. Mientras tanto, se proporciona la siguiente explicación:</p> <p>El principio de Bernoulli, de física de fluidos, nos indica que al aumentar la velocidad de un fluido disminuye la presión lateral que este ejerce. El aire que soplamos entre las latas desplaza al que había entre ellas anteriormente. Este aire tiene mayor velocidad y por lo tanto ejerce una presión menor sobre las paredes de las latas. Por otra parte, el aire circundante de la atmósfera sigue aportando una presión en los otros lados de la lata. Esta diferencia de presión genera una fuerza neta que hace que las latas se junten.</p> <p><i>Objetivos de la fase 3</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Proporcionar una explicación científica al fenómeno observado.</li> </ul>	
<p><i>Fase 4. Solicitud de explicación del fenómeno a cada estudiante</i></p> <p>Se solicita al participante que explique con sus propias palabras el fenómeno que acaba de presenciar. A continuación, se realizan las siguientes preguntas.</p> <p><i>Objetivos de la fase 4</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Registrar la reelaboración conceptual y el grado de seguridad con respecto a esta.</li> </ul>	
<p><i>Pregunta 4.1</i> ¿Podrías explicar con tus propias palabras el fenómeno que acabas de presenciar?</p>	<p>Respuesta libre.</p>
<p><i>Pregunta 4.2</i> ¿En qué medida estás segura/o de la explicación proporcionada?</p>	<p>Misma lista de respuestas que la pregunta 1.2.</p>

---

# Study of Emotions in a Cognitive Breakthrough Process Through Facial Recognition

Ángel Ezquerro, Sonia Pamplona, Amalia Casas-Mas, Iván Nieto-Gómez

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Sociales y Matemáticas Facultad de Educación – CFP.

Universidad Complutense de Madrid, España

angelezq@ucm.es, spampilon@ucm.es, amacasas@ucm.es, ivnieto@ucm.es

Alternative conceptions are mental representations that we develop about the environment; they are implicit and have a pragmatic character (Pozo & Gómez Crespo, 1998; Schnotz et al., 1999). They prove to be highly resistant to change (Driver et al., 1985) and are often disconnected from each other or lack internal coherence. When there is a transformation of these pre-existing conceptions, it is referred to as conceptual change (Posner et al., 1982; Vosniadou, 2008). This process is complex and not easily achieved (Duit, 1999). However, cognitive processes appear to involve intentionality, interest, values, and emotions (Dolan, 2002; Matusovich & McCord, 2012). Thus, to differentiate from «cold» approaches, the term *hot cognition* was introduced (Pintrich et al., 1993) along with *hot conceptual change*.

Traditionally, the identification of emotions has been carried out declaratively (through questionnaires, interviews, etc.) and observationally. While these methodologies have led to significant advancements, specific shortcomings have been identified in tracking epistemic emotions. To address these issues, techniques such as facial emotion recognition (FER) have been employed, utilizing artificial intelligence (AI) to automate the process (Ezquerro et al., 2022; Ezquerro et al., 2023; Liaw et al., 2021). AI algorithms undergo successive processing to search for similarities between the graphs of detected facial markers and stored reference patterns.

The overall purpose of this study has been to identify the emotions experienced by students through FER during an activity that collided with their initial conjectures. The emotions detected when students observed the contrast between their conjectures and the facts were two: surprise and disgust. Analysis of emotional flows allowed us to classify the 16 students into 3 groups: Surprise, Anger, and Surprise + Anger.

The Surprise group comprised 9 students (53 %). Surprise expressions started at 1.5 seconds after the collision of the cans and disappeared after the 6th second. This surprise response appears to be related to the dissonance between what happened and the student's prediction.

The anger reaction occurred in a group of 3 students (22 %). Anger expressions began at the 2-second mark after the first collision of the cans and persisted until the end of the studied interval. Members of this group seem to display a rejection of the idea of having failed in their prediction.

The group expressing Surprise + Anger consisted of 4 students (25%). Surprise began at the 2-second mark after the collision and disappeared at the 4-second mark. Displays of anger (lip curling, in this case) commenced at the 3-second mark and continued until the end of the studied interval.

It appears that the contrast between their predictions and reality led them to a sudden imbalance in their pre-existing ideas. This impact was accompanied by highly intense changes in their emotional expressions.

The explanation given by the students after attending an explanation from the teacher was also studied. It was observed that students represented the shape of the cans with their hands or simulated air pressure with their arms while verbally narrating the events. Moreover, the expression data collected during this recall seems to echo the same emotions felt.

Furthermore, the cognitive elements that the individual felt as crucial and wanted to highlight were particularly emphasized with emotional expressions. Not with just any emotion, but with those experienced and felt at the moment of the dissonance. This has significant educational implications, suggesting that when we explain a natural phenomenon, we are imbuing the facts with emotions, specifically, with our emotions. Thus, we would expressively highlight the primacy of the phenomenon for us compared to what is superficial for us.