

Affective touch: Estudio preliminar de estímulos vibrotáctiles en interfaces hápticas

Affective Touch: A preliminary study of vibrotactile stimuli in haptic interfaces

⁽¹⁾ Noelia González-Sánchez [0009-0005-3125-4673], ^(1,2) Arturo S. García [0000-0003-0671-324X], ^(1,2,3) Antonio Fernández-Caballero [0000-0002-8211-0398], ^(1,2) José P. Molina [0000-0001-6832-3250]

⁽¹⁾ Instituto de Investigación en Informática de Albacete, 02071 Albacete, España

⁽²⁾ Departamento de Sistemas Informáticos, Universidad de Castilla-La Mancha, 02071 Albacete, España

⁽³⁾ CIBERSAM (Biomedical Research Networking Centre in Mental Health), 28029 Madrid, España

Resumen. *Affective touch* desempeña un papel fundamental en la homeostasis física y el bienestar social, y se diferencia del tacto discriminativo por su conexión intrínseca con los sistemas neurobiológicos de recompensa y regulación emocional. Este mecanismo actúa como amortiguador del estrés al atenuar la reactividad fisiológica y promover estados de seguridad psicológica. Aunque tradicionalmente se ha asociado con la estimulación de la piel con vello, investigaciones recientes sugieren que las interfaces hápticas también pueden modular la valencia y la activación *arousal* del usuario. Dentro de este marco, el experimento propuesto estudia los estímulos generados por un sistema de retroalimentación vibrotáctil mediante guantes hápticos para identificar qué parámetros físicos específicos (intensidad, duración y zona anatómica) provocan respuestas emocionales positivas y modulan el estado afectivo del usuario. En lugar de evaluar predisposiciones estables, el presente estudio investiga la reactividad inmediata (ansiedad de estado) ante estos estímulos vibrotáctiles mediante cuestionarios basados en el afecto para las dimensiones de valencia (agrado-desagrado) y *arousal* (activación-calma). La configuración de parámetros resultante debe entenderse como un paso preliminar que puede servir posteriormente de base para el diseño y el desarrollo de sistemas hápticos más complejos e inmersivos.

Palabras clave: *Affective touch*, hápticos, ansiedad-estado, realidad virtual.

Abstract. Affective touch plays a fundamental role in physical homeostasis and social well-being, and differs from discriminative touch in its intrinsic connection to neurobiological systems of reward and emotional regulation. This mechanism acts as a stress buffer by attenuating physiological reactivity and promoting states of

psychological safety. Although it has traditionally been associated with stimulation of hair-bearing skin, recent research suggests that haptic interfaces can also modulate the user's valence and arousal levels. Within this framework, the proposed experiment examines stimuli generated by a vibrotactile feedback system using haptic gloves to identify which specific physical parameters (intensity, duration, and anatomical location) elicit positive emotional responses and modulate the user's affective state. Rather than assessing stable predispositions, the present study investigates immediate reactivity (state anxiety) to these vibrotactile stimuli using affect-based questionnaires for the dimensions of valence (pleasure-displeasure) and arousal (activation-calm). The resulting parameter configuration should be understood as a preliminary step that can subsequently serve as a basis for the design and development of more complex and immersive haptic systems.

Keywords: Affective touch, haptics, anxiety-state, virtual reality.

1. INTRODUCCIÓN

La ansiedad se define, en términos generales, como un estado emocional de anticipación aprensiva frente a amenazas o peligros futuros, acompañado de un proceso natural de activación fisiológica y cognitiva orientada a movilizar a los seres humanos y otros animales ante el peligro (Atienza, 2010). En su forma adaptativa, la ansiedad cumple una función protectora, es decir, prepara al organismo para enfrentar o evitar peligros mediante la activación de la respuesta de lucha o huida, incrementando así las posibilidades de supervivencia (American Psychiatric Association, 2023). Este proceso adaptativo involucra un aumento transitorio de la alerta y de la actividad fisiológica, lo que conlleva un aumento de la frecuencia cardíaca o de la tensión muscular, facilitando una respuesta más rápida ante estímulos potencialmente dañinos (American Psychiatric Association, 2023). Sin embargo, cuando la respuesta de ansiedad se activa de forma excesiva, crónica o desproporcionada en ausencia de un peligro real, deja de ser adaptativa para convertirse en patológica, interfiriendo con el funcionamiento diario y el bienestar del individuo (Atienza, 2010). Dada esta complejidad sintomatológica, en el contexto de la evaluación experimental es fundamental diferenciar entre la predisposición de la personalidad a sentir ansiedad y la respuesta momentánea ante un estímulo.

En este sentido, el *affective touch* emerge como un mecanismo para regular esta ansiedad. Aunque tradicionalmente se ha asociado con la estimulación suave de las fibras aferentes C-táctiles presentes en la piel con vello, (Marshall & McGlone, 2020), estudios como (Zhao et al., 2022) han demostrado que las interfaces hápticas también pueden replicar estos beneficios. Específicamente, la estimulación vibrotáctil es capaz de modular el estado emocional del usuario pudiendo usarse como una intervención pasiva e inmediata para mitigar la ansiedad (Zhao et al., 2022). Dentro de este marco, resulta de gran interés identificar qué propiedades hápticas específicas pueden evocar respuestas emocionales positivas y regular el estado afectivo del usuario en el momento.

Para abordar estos objetivos, este artículo se ha estructurado de la siguiente manera: en primer lugar, se exponen los fundamentos teóricos del *affective touch*, explicando sus principios neurofisiológicos y cómo influye la estimulación en la piel glabra, es decir, piel sin vello, como la

presente en las palmas de las manos y las yemas de los dedos. En segundo lugar, se detalla el contexto de interacción en entornos de realidad virtual y el papel de las interfaces hápticas. En tercer lugar, se describe la metodología y se analizan los resultados del experimento realizado. Por último, se presentan las conclusiones derivadas del estudio y sus implicaciones para futuros desarrollos.

2. AFFECTIVE TOUCH

El sentido del tacto tradicionalmente se ha entendido como un sistema discriminativo, es decir, permite percibir la forma de las cosas, la presión o la localización de estímulos. Además, apoya la exploración háptica y la manipulación de objetos, ayudando a la detección de estímulos externos en la superficie de la dermis (Kidd et al., 2022). Sin embargo, a diferencia del tacto meramente discriminativo, el affective touch está ligado a componentes emocionales y de recompensa (Morrison et al., 2010), jugando un papel fundamental en la homeostasis física y bienestar social (He et al., 2024). Esta dimensión, mediada en gran parte por las fibras aferentes C-Táctiles (CT) presentes en la piel vellosa, constituyen la parte neurobiológica básica para el desarrollo del cerebro social y la regulación del estrés a lo largo de la vida (Marshall & McGlone, 2020). Privar de este tacto durante ciertos periodos del desarrollo se asocia con niveles elevados de ansiedad, hipervigilancia y una regulación deficiente del hipotalámico-hipofisario-adrenal (HPA) en la vida adulta. Marshall y McGlone, proponen que la función principal de las aferentes CT no es solo señalar el placer, sino promover una sensación de seguridad y de actuar como un amortiguador del estrés, permitiendo al organismo sentir que “todo está bien” a través de señales autonómicas y neurohormonales.

El tacto afectivo ejerce un efecto calmante directo sobre los sistemas de respuesta al estrés. Estudios como (Marshall & McGlone, 2020), destacan que el tacto interpersonal suave puede reducir la actividad del sistema nervioso simpático, los niveles de cortisol y la frecuencia cardíaca, aumentando la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV). Este proceso de regulación emocional a través del tacto suele ocurrir en tres etapas: modificación de la situación, despliegue atencional y reevaluación cognitiva, lo que ayuda a aliviar el estrés (He et al., 2024). Clásicamente, este tacto afectivo se ha asociado a la estimulación de las fibras CT, no obstante, existe una distinción fisiológica fundamental cuando los estímulos se aplican en áreas como la palma y los dedos de la mano. La piel glabra carece de las fibras CT típicas de la piel vellosa, estando compuesta predominantemente por mecanorreceptores de bajo umbral conectados a fibras A-beta, las cuales están especializadas en funciones sensoriomotoras rápidas y en el tacto discriminativo (He et al., 2024).

A pesar de la ausencia de fibras CT en la mano, estudios como (Mazza et al., 2023) afirman que el procesamiento afectivo no se restringe exclusivamente a la estimulación directa de estas fibras. En la piel glabra, cualquier respuesta hedónica observada no debe atribuirse a una activación interoceptiva límbica directa, sino a un procesamiento cortical de orden superior, al aprendizaje previo y a asociaciones sensoriales. Las propiedades físicas de un estímulo, captadas de forma discriminativa por las fibras A-beta, son procesadas por la corteza somatosensorial y posteriormente evaluadas por la corteza orbitofrontal, desencadenando respuestas hedónicas a través de mecanismos de refuerzo secundario (McGlone et al., 2014). El sistema nervioso central recurre a estos mecanismos cognitivos para comparar la información sensorial entrante con representaciones almacenadas en la memoria, asignando un valor hedónico subjetivo basado en experiencias previas (Dezcallar Sáez, 2012).

Dentro de este marco teórico, el presente estudio busca trasladar estos principios de regulación emocional a una experiencia digital mediante el uso de guantes hápticos vibrotáctiles. Estos sistemas integran matrices de actuadores que se activan de forma secuencial induciendo un estímulo vibrotáctil, que posteriormente, el usuario percibe como un estímulo continuo (Cansev et al., 2025), evocando niveles de agrado y respuestas hedónicas (Huisman et al., 2016). Este fenómeno se fundamenta en un procesamiento cognitivo y de orden superior en el que el cerebro humano integra la información de la velocidad y el patrón del estímulo vibrotáctil, comparándola con representaciones y memorias de interacciones táctiles previas para asignarle un significado afectivo (Huisman et al., 2016).

Los guantes hápticos, al estimular los mecanorreceptores A-beta de la mano, envían señales que el cerebro procesa y que pueden ser medidos subjetivamente como “agradables” o “desagradables” (McGlone et al., 2014). La experiencia sensorial pasa por un nivel de evaluación afectivo-cognitiva donde intervienen la memoria y las experiencias individuales (Dezcallar Sáez, 2012). La información proporcionada por los guantes a través de las vibraciones se compara en la memoria, evocando recuerdos que disparan la respuesta emocional correspondiente (Dezcallar Sáez, 2012). La respuesta afectiva que se observará al usar los guantes hápticos será, por tanto, producto de un procesamiento cortical de orden superior. Al no existir una vía directa en la mano que conecte con la parte emocional del cerebro (fibras CT), el cerebro debe recurrir a mecanismos de aprendizaje y refuerzo secundarios (McGlone et al., 2014). El usuario percibirá las propiedades discriminativas mediante las fibras A-beta y, a través de la conexión cognitivo-límbica, asignará un valor hedónico basado en asociaciones aprendidas y memorias previas (Dezcallar Sáez, 2012).

3. EXPERIMENTO

Dentro de un entorno de realidad virtual, la mano es el principal medio utilizado para la exploración, manipulación e interacción con el entorno. En este sentido, los guantes hápticos permiten establecer una relación natural entre el gesto realizado por el usuario y la retroalimentación sensorial recibida (Perez Ariza & Santis-Chaves, 2016). Al aplicar estimulación mecánica en las yemas de los dedos, los guantes hápticos integran la retroalimentación háptica de forma directa en la acción y refuerzan la sensación de inmersión. Más allá de su utilidad funcional, estos dispositivos, al utilizar vibraciones mecánicas localizadas en la yema de los dedos, generan una respuesta subjetiva y psicológica, que puede medirse en términos de valencia y *arousal*.

Tradicionalmente, las interfaces hápticas se utilizan para confirmar la ejecución de una acción, señalar errores o guiar espacialmente la interacción del usuario (Sun et al., 2024). Sin embargo, este estudio propone utilizar la retroalimentación vibrotáctil para mejorar la comodidad y el bienestar durante la experiencia inmersiva. Desde esta perspectiva, el desarrollo de señales vibrotáctiles agradables puede contribuir con una interacción más positiva, reduciendo la fatiga sensorial y las sensaciones aversivas, favoreciendo una mayor sensación de seguridad en entornos virtuales (Sun et al., 2024).

En línea con este planteamiento, este estudio tiene como objetivo evaluar la capacidad de diferentes estímulos vibrotáctiles, aplicados mediante guantes hápticos, para inducir perfiles afectivos diferenciados en los participantes. Específicamente, se busca determinar si la estimulación táctil en la piel glabra de la mano puede evocar respuestas subjetivas consistentes que distingan entre estados

de regulación emocional (calma/agrado) y estados de alerta o rechazo (activación/desagrado), fundamentadas en la interacción entre el procesamiento sensorial y la valoración cognitiva-emocional (McGlone et al., 2014).

3.1. Participantes y diseño experimental

Para el presente estudio se involucraron 12 participantes (8 hombres y 4 mujeres), con un rango de edad comprendido entre los 22 y los 31 años, de los cuales 11 eran diestros y 1 era zurdo. Todos los sujetos seleccionados presentaron un estado de salud sano y fueron clasificados como neurotípicos, sin antecedentes de trastornos neurológicos. Se empleó un diseño experimental intra-sujeto, en el cual todos los participantes fueron expuestos a la totalidad de las condiciones experimentales, correspondientes a los diferentes estímulos vibrotáctiles generados por los guantes hápticos TactGlove DK2 desarrollado por bHaptics (bHaptics Inc., 2026), para evaluar la respuesta afectiva y sensorial frente a la estimulación táctil.

Este dispositivo proporciona retroalimentación vibrotáctil en entornos de realidad virtual y realidad aumentada. Su funcionamiento general se basa en la integración de seis actuadores lineales resonantes (LRA) de alta definición, ubicados en las yemas de los cinco dedos y uno en la muñeca, sumando un total de 12 puntos de retroalimentación por par. Los actuadores utilizados operan a una frecuencia de resonancia nominal aproximada de 170Hz, cuya aceleración pico generada por los motores ronda 1G (aceleración gravitacional) a su máxima capacidad de salida (bHaptics Inc., 2026). Esto permite expresar las intensidades programadas en el entorno experimental como equivalencias físicas aproximadas en G y en m/s^2 , entendidas como valores nominales de referencia y, dado que la experiencia sensorial del tacto afectivo depende de las diferencias individuales (Cansev et al., 2025), este método ha permitido aislar la variabilidad subjetiva y asegurar la validez de las mediciones. Para la presente investigación se emplearon estímulos vibrotáctiles localizados, desarrollados en la aplicación bHaptics Designer (Figura 1), generados mediante los actuadores integrados en los guantes hápticos TactGlove DK2 (bHaptics Inc., 2026).

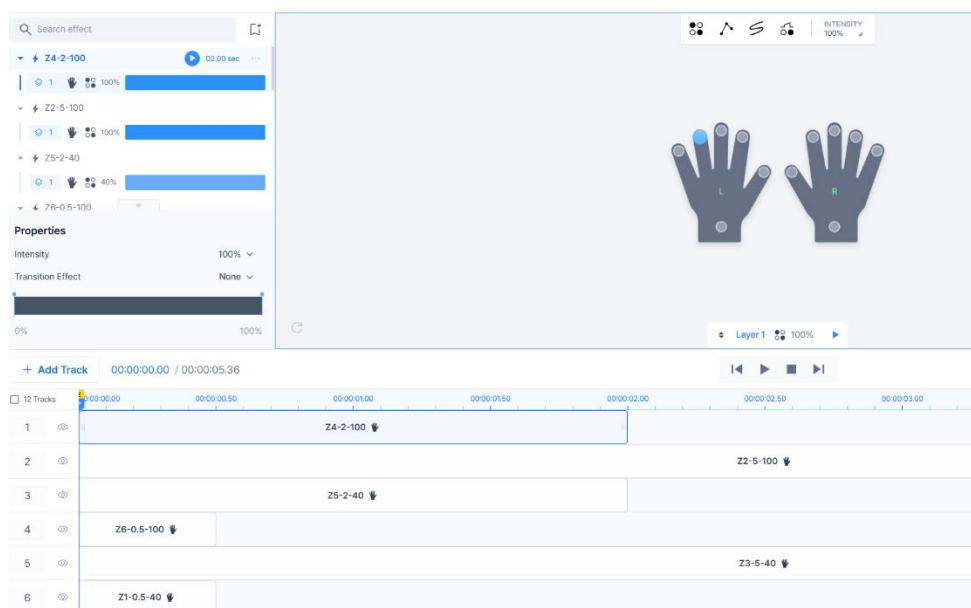


Figura 1. Desarrollo de los estímulos con la herramienta bHaptics Designer.

En el experimento se evaluaron distintos estímulos aplicados de forma independiente en los seis actuadores que posee cada guante, situados en las yemas de los cinco dedos y en la muñeca (Figura 2) (*bHaptics Inc.*, 2026). Así, cada uno de estos puntos de contacto se evaluó bajo diferentes combinaciones de los parámetros temporales y de intensidad definidos para la prueba.

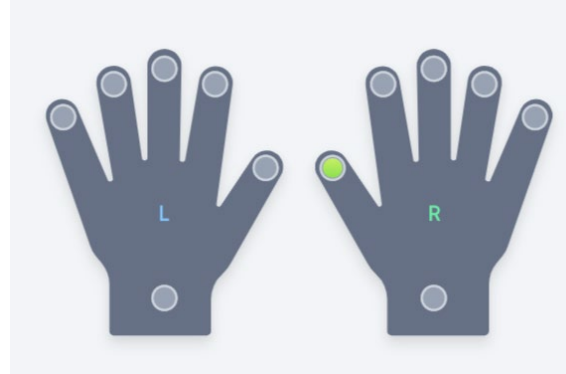


Figura 2. Posición de los actuadores en cada una de las manos.

Los factores experimentales manipulados fueron la intensidad y la duración del estímulo. Se establecieron dos niveles de intensidad, 100% y 40% del valor de salida programado, y tres duraciones, 0,5, 2 y 5 segundos. De la combinación de ambos factores resultaron seis condiciones de estimulación para cada localización. Esto permitió analizar de forma sistemática cómo la intensidad y el tiempo de exposición influyen en la percepción afectiva de la vibración.

En cuanto a la intensidad, los porcentajes utilizados corresponden a los niveles de salida definidos en el software de control, por lo que representan una proporción del rendimiento del actuador y no una magnitud física absoluta. Así, un estímulo configurado al 100% corresponde al nivel máximo disponible del sistema, representando una señal intensa y fácilmente discriminable. Y, por otro lado, un estímulo al 40% representa una estimación aproximada de 0,4 veces la aceleración pico máxima nominal, es decir, aproximadamente $3,92\text{m/s}^2$. Esto permitió incluir una condición de menor intensidad que seguía siendo perceptible. Respecto a la duración, se seleccionaron tres tiempos de estimulación con el fin de abarcar un rango representativo dentro de un contexto de interacción en realidad virtual, evitando exposiciones prolongadas que pudieran favorecer la habituación. Estudios como (Macdonald et al., 2020) señalan que, tras varios segundos de vibración continua (entre 8 y 12 segundos), la sensación percibida en la mano puede atenuarse afectando a la percepción efectiva del estímulo. Por este motivo, no se utilizaron duraciones superiores a 5s.

De esta forma, se tuvieron en cuenta como variables independientes:

- **Intensidad del estímulo:** configurada en dos niveles (100% y 40% de la salida del actuador).
- **Zona de estimulación:** definida en seis niveles correspondientes a distintas áreas de la mano (pulgar, dedo índice, dedo corazón, dedo anular, dedo meñique y muñeca).
- **Duración del estímulo:** establecida en tres niveles de exposición temporal (5, 2 y 0,5 segundos).
- **Lateralidad** (mano estimulada): con dos niveles, derecha e izquierda.

La combinación de los parámetros físicos de la estimulación generó una batería base de 36 estímulos hápticos únicos, divididos en 6 bloques, los cuales se aplicaron de forma aleatoria en ambas manos, completando los 72 estímulos realizados en ambas manos.

Como variables dependientes principales se registraron las respuestas afectivas subjetivas de los usuarios frente a cada uno de los estímulos. Estas respuestas se fundamentaron en el modelo circunplejo del afecto (Macdonald et al., 2020), evaluando las emociones a través de cuestionarios para las dos dimensiones principales:

1. Dimensión hedónica (agradable - desagradable): Los participantes evaluaron el grado de placer percibido en los estímulos.
2. Dimensión de activación (me calma - me activa): Se evaluó el impacto de los estímulos en el estado de regulación emocional del participante, oscilando entre la relajación y la activación.

Como variable dependiente secundaria y de control físico, se registró la presencia de sensaciones residuales (específicamente, hormigueo) tras la estimulación. Finalmente, se incluyó el registro del estado de ansiedad como variable de control psicológico.

3.2. Procedimiento

El protocolo experimental se llevó a cabo en un entorno de laboratorio controlado para minimizar posibles distracciones ambientales o interacciones no deseadas. El procedimiento constó de las siguientes fases secuenciales.

Al inicio de la sesión, los participantes rellenaron un cuestionario inicial para registrar sus datos demográficos básicos, específicamente edad, sexo y mano dominante. Inmediatamente después de proveer esta información, los participantes completaron el cuestionario de ansiedad STAI (*State-Trait Anxiety Inventory*) (Spielberger, 2010) en su subescala de estado, con el propósito de establecer una línea base cuantitativa de su nivel de ansiedad subjetiva previa a la exposición a los estímulos.

A continuación, dio comienzo la fase de estimulación estructurada en dos bloques. El primer bloque se realizó de manera exclusiva sobre la mano derecha. Los participantes fueron expuestos de forma sucesiva a la batería de los 36 estímulos configurados. Inmediatamente después de la presentación de cada estímulo, el participante procedía a evaluarlo en las dimensiones afectivas de valencia y *arousal* mediante los cuestionarios Likert, en el que para la dimensión de valencia 1 representaba una sensación “desagradable” y 5 una sensación “agradable”, y, para la dimensión de *arousal* 1 significaba “me calma” y 5 significaba “me activa” (*Figura 3*).

Una vez evaluados los 36 estímulos de este primer bloque, se realizó una pausa. En este punto, el investigador preguntó de forma explícita a los participantes si experimentaban alguna sensación de hormigueo, entumecimiento o alteración perceptiva en la mano derecha a causa de la estimulación.

Posteriormente, se dio paso al segundo bloque experimental, en el cual se replicó exactamente el mismo procedimiento, pero utilizando la mano izquierda. Los participantes recibieron nuevamente la batería de 36 estímulos y reportaron sus niveles de valencia y *arousal* tras cada ensayo. Al concluir la evaluación del último estímulo con la mano izquierda, se procedió a realizar nuevamente la pregunta de control sobre la presencia de hormigueo en dicha mano, dando por finalizado el experimento.

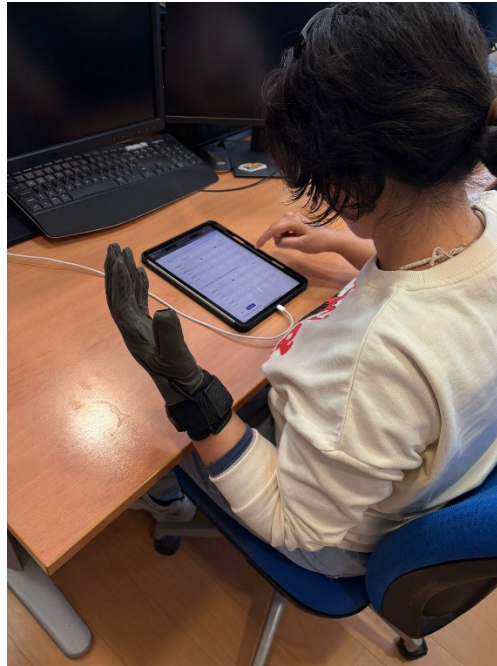


Figura 3. Desarrollo del experimento.

3.3. Resultados

Los datos obtenidos para la dimensión de valencia, como se puede ver en la Figura 4 reveló efectos principales en función de la lateralidad, la intensidad, la duración y la zona anatómica. A nivel global, los estímulos aplicados en la mano derecha obtuvieron una puntuación media de valencia ligeramente superior (media 3,1) a los aplicados en la mano izquierda (media 2,8). Sin embargo, la mano izquierda fue más reactiva y polarizada ante los cambios en la configuración de los estímulos, presentando tanto las puntuaciones más bajas de desagrado ante condiciones aversivas, como los picos más altos de agrado ante condiciones favorables.

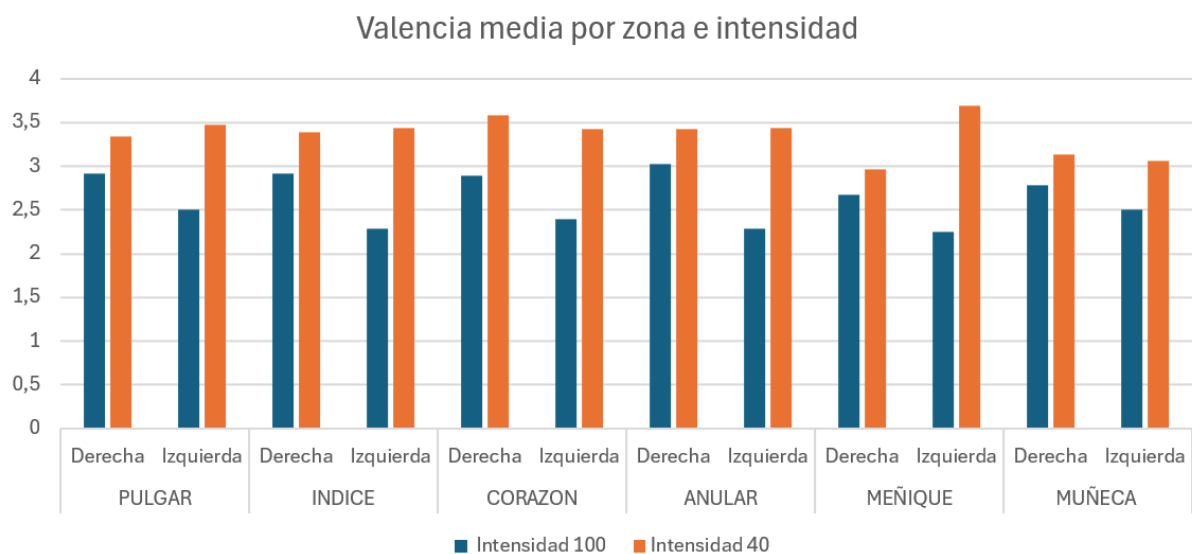


Figura 4. Medias de valencia obtenidas en cada zona estimulada de la mano derecha e izquierda para las dos intensidades evaluadas.

En cuanto a la intensidad, demostró ser un factor determinante en el agrado del estímulo. De manera consistente, la intensidad baja (40) fue evaluada como significativamente más agradable que la intensidad alta (100) en casi todas las configuraciones. Al analizar la interacción entre intensidad y mano, se observó que la mano izquierda es más sensible a los estímulos fuertes, la media de valencia cae (hasta aproximadamente 2,3) con la intensidad 100, especialmente en los dedos índice, corazón y anular. En contraste, la mano derecha presenta una mayor tolerancia a la intensidad 100, manteniendo puntuaciones cercanas a 2,9. Por el contrario, al aplicar la intensidad baja (40), la mano izquierda superó a la derecha en agrado general, registrando el pico de máxima valencia del estudio.

En lo que respecta al análisis de las medias por duración, los participantes mostraron una clara preferencia por los estímulos cortos frente a los prolongados. La duración de 5s reportó sistemáticamente las puntuaciones de valencia más bajas en ambas manos, mientras que la duración de 0,5s generó el mayor grado de agrado (valencia media superior a 3), equiparando la percepción positiva en ambas manos. En la mano derecha, tanto la duración de 0,5s como la de 2s fueron evaluadas muy positivamente (superando a la de 5s), mientras que, en la mano izquierda, la duración de 0,5s fue la única que generó niveles de agrado equivalentes a los de la mano derecha, siendo notablemente preferida sobre las duraciones de 2s y 5s.

El nivel de agrado varió dependiendo del área específica estimulada. La mano derecha mostró una percepción afectiva más homogénea a lo largo de todos los dedos y la muñeca, con puntuaciones medias que superaron a las de la mano izquierda en casi todas las zonas. La excepción notable fue el dedo meñique de la mano izquierda. Mientras que los dedos centrales de la mano izquierda (índice, corazón y anular) fueron las zonas peor evaluadas del experimento, el meñique izquierdo destacó como la zona con la media de agrado más alta de esa extremidad, especialmente cuando se combinó con una intensidad baja (40) y duraciones cortas (0,5s).

El análisis de las respuestas subjetivas para la dimensión de *arousal* como se puede ver en la Figura 5 reveló efectos principales atribuibles a la intensidad, la duración, la lateralidad y la zona anatómica estimulada. La intensidad del estímulo influye en el nivel de activación percibido por los participantes. De manera sistemática y generalizada, los estímulos configurados con una intensidad alta (100) produjeron las puntuaciones más altas de la escala, percibiéndose como los más calmantes (con medias globales que superan el 3,5). Por el contrario, la intensidad baja (40) generó puntuaciones más bajas, indicando que estos estímulos resultaron significativamente más activantes para los usuarios (con medias entre el 2,5 y el 3,0) en todas las zonas evaluadas.

El análisis temporal mostró que la prolongación del estímulo incrementa la sensación de relajación. La duración más larga (5s) reportó sistemáticamente las puntuaciones de *arousal* más altas (tendencia a la calma, con medias superiores a 3,3) tanto en la mano derecha como en la izquierda. En contraposición, las duraciones más cortas (0,5s y 2s) obtuvieron medias inferiores (cercanas a 3,0 y 3,2), siendo percibidas como estímulos más estimulantes. Destaca especialmente el alto nivel de calma reportado en la muñeca izquierda y derecha bajo la duración de 5s.

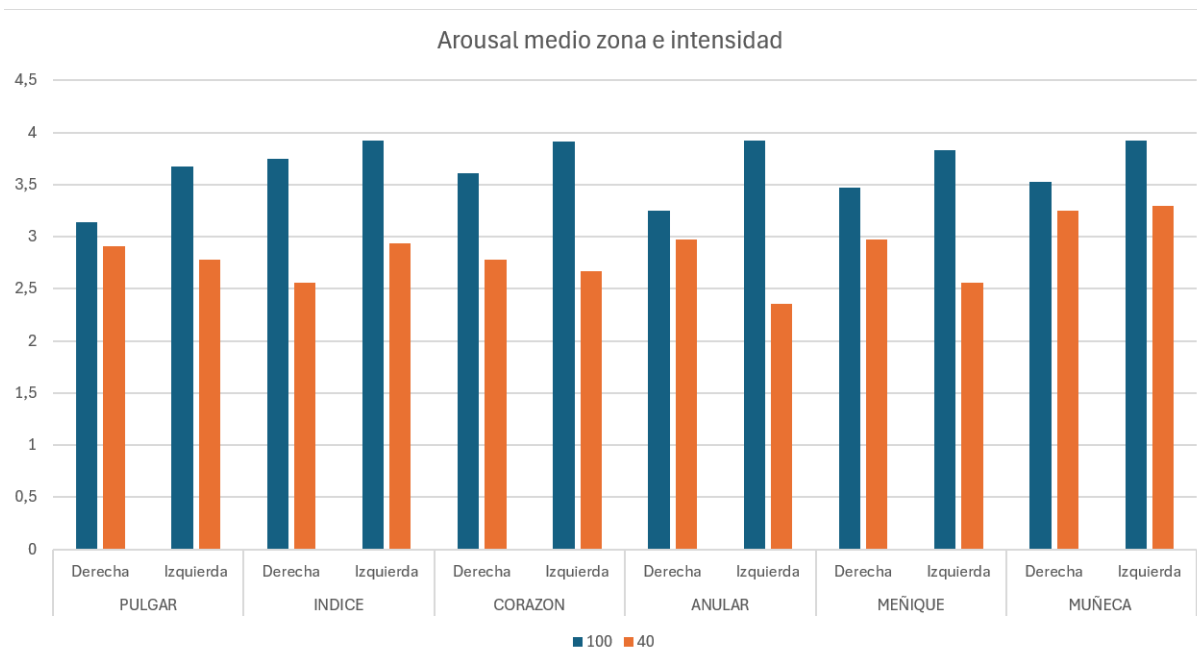


Figura 5. Medias de arousal obtenidas en cada zona estimulada de la mano derecha e izquierda para las dos intensidades evaluadas.

A nivel global, los estímulos aplicados en la mano izquierda generaron una sensación ligeramente mayor de calma (media global aproximada de 3,3) en comparación con la mano derecha (media global de 3,2). Adicionalmente, se observó una interacción pronunciada entre la lateralidad y la intensidad en las falanges: la mano izquierda se mostró más polarizada frente a los cambios de fuerza. En los dedos índice, corazón, anular y meñique de la mano izquierda, la brecha entre la calma inducida por la intensidad alta (100) y la fuerte activación inducida por la intensidad baja (40) fue notablemente más amplia que la registrada en las mismas zonas de la mano derecha. Al evaluar el área específica de contacto, los resultados indican que la muñeca es la zona con mayor propensión a generar calma, reportando las medias más altas de *arousal* de todo el conjunto, independientemente de la mano. Por el contrario, los dedos resultaron ser áreas más receptivas a la activación. Las puntuaciones más bajas de la escala se concentraron en las zonas de los dedos al aplicar la intensidad baja (40), destacando particularmente los dedos anular e índice de la mano izquierda, los cuales registraron medias de activación por debajo de 2,5.

3.4. Discusión

Los resultados obtenidos para la dimensión de valencia revelan que la percepción del agrado de los estímulos vibrotáctiles depende de una compleja interacción entre los parámetros físicos del estímulo (intensidad y duración) y factores anatómicos (lateralidad y zona estimulada). La intensidad baja (40) fue evaluada como significativamente más agradable que la intensidad alta (100), lo que es consistente con la literatura sobre háptica afectiva. Estos hallazgos concuerdan con la evidencia previa sobre el diseño de interfaces hápticas afectivas. Así, estudios como (Hasegawa et al., 2019) han demostrado que la amplitud (intensidad) de la vibración se correlaciona positivamente con el nivel de *arousal* y negativamente con la valencia y el confort. En lo que respecta al tiempo de exposición, una vibración continua o prolongada provoca que la acumulación temporal del estímulo se perciba como excesivamente intensa, lo que disminuye el confort y la valencia (Hasegawa et al.,

2019). Esto explica la preferencia por los estímulos cortos (0,5s). Al ser breve, minimiza esta fatiga o sobreestimulación de los mecanorreceptores, logrando mantener el estímulo en un rango perceptible pero no intrusivo, equiparando así la experiencia afectiva positiva en ambas manos. Durante el experimento destacaron los estímulos de menor intensidad (40) y menor duración (0,5s y 2s), ya que fueron percibidos como más calmantes en contraposición a estudios previos (Hasegawa et al., 2019). Esto se debe principalmente al fenómeno de habituación y acumulación temporal, el cual, se constató de manera directa en el experimento, ya que, después de calificar los estímulos, la mayoría de los participantes reportó sufrir una sensación de hormigueo residual en las manos, un efecto secundario documentado ante la exposición a vibraciones prolongadas (He et al., 2024).

En cuanto a la diferencia de reactividad entre la mano derecha y la izquierda. La mayor tolerancia de la mano derecha a estímulos aversivos (intensidad 100 y duración 5 s) y su homogeneidad en las puntuaciones sugieren un efecto de habituación. Dado que la mano derecha es la dominante para la mayoría de los participantes (11 participantes diestros y 1 zurdo), se puede observar que está sometida a un uso continuo en tareas de discriminación táctil, manipulación de herramientas y exploración activa que requieren fuerza y precisión. Estudios como (McGlone et al., 2014) señalan que la exposición continua moldea la percepción del tacto afectivo, esto hace que la mano dominante tenga un umbral de desagrado más alto ante estímulos mecánicos más fuertes. Por el contrario, la mano izquierda (no dominante en la mayoría de los participantes) demostró ser mucho más reactiva y polarizada, mostrando una mayor sensibilidad general. La caída de la valencia a 2,3 con alta intensidad en los dedos índice, corazón y anular izquierdos subraya que estas zonas, típicamente orientadas a la discriminación fina cuando se usan, son altamente intolerantes a vibraciones fuertes. Sin embargo, esta misma sensibilidad permitió que la mano izquierda registrara el pico máximo de agrado del estudio, localizado específicamente en el dedo meñique ante la intensidad baja (40) y duración corta (0,5s). Al ser un dedo con menor implicación en las tareas de agarre o exploración discriminativa principal, el meñique izquierdo podría conservar una mayor capacidad para procesar señales táctiles sutiles desde una dimensión puramente hedónica, asociando estímulos suaves y rítmicos con sensaciones relajantes.

Los resultados obtenidos para la dimensión de *arousal* demuestran que la respuesta de alerta del sistema somatosensorial no es lineal, sino que depende de una interacción entre las propiedades temporales y de magnitud del estímulo, así como de la densidad de los receptores en la zona anatómica estimulada. Los estímulos de menor intensidad (40) y menor duración (0,5s y 2s) fueron percibidos como los más activantes. En estudios sobre la percepción háptica, se ha observado que los estímulos cortos o de carácter impulsivo tienden a provocar mayores respuestas de *arousal* o alerta (Hasegawa et al., 2019). En lo que respecta a la zona anatómica los dedos (especialmente el índice y el anular) resultaron ser altamente receptivos a la activación, registrando los picos máximos de *arousal* con estímulos suaves. Esto es coherente con el hecho de que las yemas de los dedos al poseer una mayor densidad de mecanorreceptores de bajo umbral tienen una mayor capacidad para la discriminación táctil y la detección de microvibraciones (McGlone et al., 2014). En contraste, la muñeca fue la zona que indujo mayor calma, debido a una menor densidad de receptores discriminativos en comparación con la palma y los dedos. Esto hace que los estímulos se perciban de forma más difusa y menos intrusiva, promoviendo una respuesta de menor alerta.

4. CONCLUSIÓN Y TRABAJO FUTURO

Este estudio tuvo como objetivo principal evaluar la capacidad de diferentes estímulos vibrotáctiles, aplicados a través de interfaces hápticas, para inducir perfiles afectivos positivos y modular el estado de ansiedad y activación del usuario en función de sus propiedades físicas (intensidad, duración y zona anatómica). Para ello se analizó la reactividad inmediata de una muestra pequeña de 12 participantes. Debido a esto, los resultados obtenidos no pueden generalizarse a la población general, sino que deben interpretarse como tendencias preliminares.

A pesar de esta limitación, el estudio sugiere que la percepción afectiva de los estímulos vibrotáctiles no es uniforme, sino que depende de una compleja interacción entre la intensidad, la duración, la lateralidad y la topografía anatómica. Los resultados indican que, para generar una experiencia de retroalimentación háptica positiva (alta valencia) y estimulante (alta activación), los parámetros óptimos son una intensidad baja (40) y una duración muy corta (0,5s). Estos estímulos sutiles logran captar la atención de los mecanorreceptores sin llegar a abrumarlos. Por el contrario, la aplicación de estímulos de alta intensidad (100) y larga duración (5s) resulta contraproducente para el diseño de interfaces afectivas. Aunque en la escala de *arousal* los participantes asociaron estas configuraciones con la “calma”, los datos de valencia negativa y el reporte generalizado de hormigueo en las manos al finalizar el experimento confirman que no se trata de una relajación placentera. En su lugar, el estímulo continuo satura los receptores táctiles provocando fatiga sensorial y un adormecimiento aversivo.

Asimismo, se concluye que el diseño de interfaces debe adaptarse a la zona de contacto. Los dedos, especialmente en la mano izquierda (no dominante para la mayoría de los participantes), son más sensibles y polarizados, por lo que requieren vibraciones muy suaves. En contraste, la muñeca posee una menor densidad de receptores, permitiendo que tolere mejor la vibración prolongada y siendo el canal más adecuado para transmitir sensaciones de calma sostenida con baja intrusión. Este hallazgo permite validar la capacidad de la estimulación vibrotáctil parametrizada para modular el estado de activación y la ansiedad, estableciendo una base empírica para su futura integración en entornos inmersivos y sistemas portátiles en los que se potencie la respuesta afectiva a través de interfaces hápticas más complejas.

Agradecimientos: Este trabajo ha contado con el apoyo parcial de la subvención PID2023- 149753OB-C21 financiada por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y “ERDF A way to make Europe”, y por la subvención 2025-GRIN-38441 financiada por Universidad de Castilla-La Mancha and “ERDF A way to make Europe”. Este trabajo ha contado con el apoyo parcial de Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) (a través de Red [225RT0169]). Este trabajo también ha sido financiado en parte por CIBERSAM-ISCIII y cofinanciado por “ERDF A way to make Europe”.

5. REFERENCIAS

- American Psychiatric Association. (2023). *What Are Anxiety Disorders?*
(<https://www.psychiatry.org/patients-families/anxiety-disorders/what-are-anxiety-disorders>)
- Atienza, R. C. (2010). *Ansiedad y depresión: Guía práctica*. Formación Alcalá.
- bHaptics Inc. (2026). *Manual TactGlove DK2*.

- Cansev, M. E., Kindermann, M., Blik, A., & Beckerle, P. (2025). Affective Touch via Haptic Interfaces: A Sequential Indentation Approach. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 1–12. <https://doi.org/10.1109/TAFFC.2025.3565157>
- Dezcallar Sáez, T. (2012). *Relación entre procesos mentales y sentido háptico: emociones y recuerdos mediante el análisis empírico de texturas*. Universitat Autònoma de Barcelona,.
- Hasegawa, H., Okamoto, S., Ito, K., & Yamada, Y. (2019). Affective Vibrotactile Stimuli: Relation between Vibrotactile Parameters and Affective Responses. *International Journal of Affective Engineering*, 18(4), 171–180. <https://doi.org/10.5057/ijae.ijae-d-18-00008>
- He, S., Zeng, H., Xue, M., Huang, G., Yao, C., & Ying, F. (2024). Affective Stroking: Design Thermal Mid-Air Tactile for Assisting People in Stress Regulation. *Applied Sciences*, 14(20), 9494. <https://doi.org/10.3390/app14209494>
- Huisman, G., Frederiks, A. D., Van Erp, J. B. F., & Heylen, D. K. J. (2016). Simulating affective touch: Using a vibrotactile array to generate pleasant stroking sensations. *International Conference on Human Haptic Sensing and Touch Enabled Computer Applications*, 240–250.
- Kidd, T., Devine, S. L., & Walker, S. C. (2022). Affective touch and regulation of stress responses. *Health Psychology Review*, 17(1), 60–77. <https://doi.org/10.1080/17437199.2022.2143854>
- Macdonald, S. A., Brewster, S., & Pollick, F. (2020). Eliciting Emotion with Vibrotactile Stimuli Evocative of Real-World Sensations. *Proceedings of the 2020 International Conference on Multimodal Interaction, ICMI '20*, 125–133. <https://doi.org/10.1145/3382507.3418812>
- Marshall, A. G., & McGlone, F. P. (2020). Affective Touch: The Enigmatic Spinal Pathway of the C-Tactile Afferent. *Neuroscience Insights*, 15. <https://doi.org/10.1177/2633105520925072>
- Mazza, A., Cariola, M., Capiotto, F., Diano, M., Schintu, S., Pia, L., & Dal Monte, O. (2023). Hedonic and autonomic responses in promoting affective touch. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37471-9>
- McGlone, F., Wessberg, J., & Olausson, H. (2014). Discriminative and Affective Touch: Sensing and Feeling. *Neuron*, 82(4), 737–755. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2014.05.001>
- Morrison, I., Löken, L. S., & Olausson, H. (2010). The skin as a social organ. *Experimental Brain Research*, 204(3), 305–314.
- Perez Ariza, V. Z., & Santis-Chaves, M. (2016). Interfaces hapticas: sistemas cinestesicos vs. sistemas tactiles. *Revista EIA*, (26), 13–29.
- Spielberger, C. D. (2010). State-Trait Anxiety Inventory. In *The Corsini Encyclopedia of Psychology* (p. 1). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470479216.corpsy0943>
- Sun, W., Banakou, D., Świdrak, J., Valori, I., Slater, M., & Fairhurst, M. T. (2024). Multisensory experiences of affective touch in virtual reality enhance engagement, body ownership, pleasantness, and arousal modulation. *Virtual Reality*, 28(4). <https://doi.org/10.1007/s10055-024-01056-2>
- Zhao, Y., Tao, Y., Le, G., Maki, R., Adams, A., Lopes, P., & Choudhury, T. (2022). Affective Touch as Immediate and Passive Wearable Intervention. *Proceedings of the ACM on*

Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies, 6(4), 1–23.

<https://doi.org/10.1145/3569484>