

Vibrotactile Perception Evaluation with Yahp!

Martín Tau¹ 

LIFIA – Fac. de Informática, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Argentina
`martin.tau@lifia.info.unlp.edu.ar`

Abstract. Designing haptic human-computer interactions is complex. Skin sensitivity is not homogeneous: it varies depending on the area and exposure conditions. This makes it difficult to determine which intensities, patterns, and transitions are reliably perceptible. To address this problem, Yahp! was developed, an open-source tool that allows for the declarative definition of haptic experiments, the execution of controlled trials with users, and the recording of results. This paper presents exploratory studies conducted with Yahp! that evaluate vibration detection thresholds and the recognition of intensity transitions. The results identify perception limits, detection latencies, and observed asymmetries attributable to sensory saturation effects, providing empirical evidence for the design of effective haptic alerts and languages.

Keywords: haptic interfaces, human-computer interaction, open-source tools, psychophysical experiments, user studies

Evaluación de Percepción Vibrotáctil con Yahp!

Abstract. El diseño de interacciones humano-computadora hápticas es complejo. La sensibilidad cutánea no es homogénea: varía según la zona y las condiciones de exposición. Esto dificulta determinar qué intensidades, patrones y transiciones son perceptibles de forma confiable. Para abordar este problema, se desarrolló Yahp!, una herramienta de código abierto que permite definir experimentos hápticos de forma declarativa, ejecutar ensayos controlados con participantes y registrar resultados. Este trabajo presenta estudios exploratorios realizados con Yahp! que evalúan umbrales de detección de vibraciones y reconocimiento de transiciones de intensidad. Los resultados identifican límites de percepción, latencias de detección y asimetrías observadas atribuibles a efectos de saturación sensorial, aportando evidencia empírica para el diseño de alertas y lenguajes hápticos efectivos.

Keywords: interfaces hápticas, interacción humano-computadora, herramientas de código abierto, experimentos psicofísicos, estudios de usuarios

1 Introducción

El diseño de interacciones humano-computadora hápticas presenta desafíos significativos debido a la variabilidad de la percepción vibrotáctil. La piel humana exhibe diferencias sustanciales en sensibilidad según la localización corporal, la intensidad del estímulo y las condiciones de exposición (Jones & Tan, 2013). Esto dificulta establecer qué señales son detectables y distinguibles entre sí. Por ello, la caracterización empírica de la percepción vibrotáctil requiere estudios controlados con participantes. Sin herramientas que sistematicen su diseño, ejecución y registro, estos estudios resultan costosos y difíciles de implementar.

Para abordar esta problemática se desarrolló Yahp!, una herramienta de código abierto¹ para definir experimentos de forma declarativa, ejecutar ensayos y registrar resultados estructurados. Trabajos previos evaluaron su viabilidad mediante estudios iniciales sobre umbrales de detección e identificación de transiciones de intensidad, que identificaron indicios de saturación sensorial durante exposiciones prolongadas (Tau et al., 2026).

En el presente trabajo, se evalúa a Yahp! como soporte para la experimentación iterativa, extendiendo dichos estudios para caracterizar con mayor precisión la percepción vibrotáctil en el antebrazo. Se analiza el efecto del orden de presentación en la detectabilidad de transiciones de intensidad, se corrigen sesgos identificados y se introduce la evaluación de patrones espaciales.

Los resultados sugieren límites de percepción, latencias de detección, efectos de saturación y sesgos cognitivos en la interpretación de estímulos ambiguos. Asimismo, ilustran cómo los hallazgos experimentales pueden incorporarse directamente al rediseño de los protocolos mediante el mismo lenguaje de especificación, reforzando el enfoque iterativo de Yahp!.

1.1 Trabajo Relacionado

Jones and Tan (2013) establecen que los umbrales de detección absoluta y las diferencias apenas perceptibles (*JND*) dependen del área estimulada, la frecuencia, la duración y la localización corporal. Diversos estudios confirman que la sensibilidad vibrotáctil no es uniforme y que variables fisiológicas modulan la detectabilidad (Ackerley et al., 2014; Jönsson et al., 2015). Herramientas como Syntacts (Pezent et al., 2020), VibraForge (Huang et al., 2025) y VIREO (Mihail & Vatavu, 2022) permiten diseñar y controlar estímulos vibrotáctiles, pero no ofrecen soporte para la administración de experimentos con participantes ni el registro sistemático de respuestas. Yahp! cubre ese espacio: integra en una única especificación la generación de estímulos, la orquestación del experimento y el registro estructurado de respuestas, sin depender de *scripting* ad-hoc.

2 Yahp!: Lenguaje de Especificación de Experimentos

Como se muestra en la Fig. 1, la arquitectura de Yahp! comprende cuatro elementos: las definiciones de experimentos, el motor de ejecución, la plataforma

¹ <https://github.com/hapticsYahp>

de actuadores y el sistema de registro de resultados. Las **definiciones** describen la estructura de los ensayos; el **motor** las interpreta, orquesta su ejecución, presenta la interfaz de interacción, controla la plataforma y registra los eventos y resultados. La **plataforma** genera las señales vibrotáctiles correspondientes a los comandos que recibe a través de la interfaz simplificada PoMA (*Poor Man's API*, Balaguer and Gutierrez, 2026), la cual abstrae el acceso al hardware.

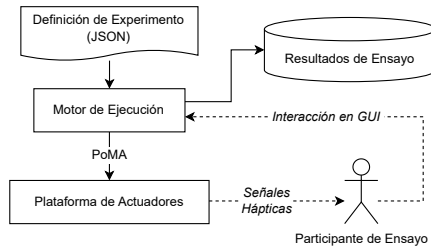


Fig. 1. Componentes principales en la arquitectura de Yahp, e interacción básica con el participante.

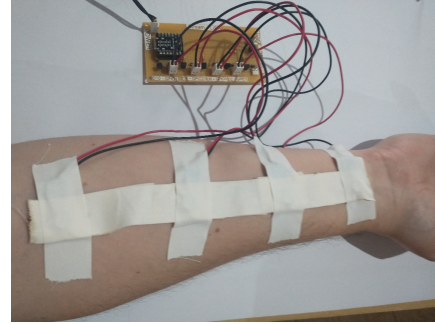


Fig. 2. Prototipo con arreglo lineal de cuatro motores sobre el antebrazo.

Yahp! representa los experimentos como máquinas de estados finitas: un conjunto de etapas y reglas de transición, con una etapa inicial y una final, donde exactamente una etapa se encuentra activa en todo momento. Las **etapas** son unidades de interacción con el participante y pueden presentar estímulos vibrotáctiles, esperar una respuesta, introducir pausas controladas o mostrar información en la interfaz. Cada etapa, al finalizar, produce un resultado: un valor fijo o una respuesta del participante. Las **reglas** determinan la progresión entre etapas: cada una define una etapa de origen, una etapa de destino y una condición booleana. Al completarse una etapa, el motor de ejecución evalúa las reglas asociadas en orden y la primera cuya condición resulta verdadera determina la siguiente etapa activa.

Las condiciones se definen mediante operadores predefinidos que actúan sobre el resultado de la etapa de origen. Entre los principales se incluyen: **Always/Never** (incondicionales), **Equals/Distinct** (comparaciones con un valor esperado) y **GreaterThan/LesserThan** (comparaciones numéricas). Esto permite definir tanto secuencias lineales como experimentos adaptativos cuyo flujo depende de las respuestas del participante.

3 Estudios

Los primeros tres estudios utilizaron una muñequera elástica con un motor *coin* ERM (*Eccentric Rotating Mass*) en la cara interna de la muñeca; el cuarto empleó un arreglo lineal de cuatro motores distribuidos a lo largo de la cara

interna del antebrazo, desde la muñeca hasta el codo (Fig. 2). Los detalles de participantes, mecánica y resultados se incluyen en el Anexo (Sec. 5).

3.1 Estudio 1: Umbrales de Detección por Intensidad

Para determinar qué intensidades son detectables en la cara interna de la muñeca y con qué latencia, se presentó una secuencia de cinco intensidades (en el rango 10–70%). La intensidad del 10 % no fue detectada por ningún participante, situando el umbral de detección absoluta entre 10 % y 20 %. Las intensidades superiores al 20 % se percibieron de forma confiable en menos de 3,5 s.

3.2 Estudios 2 y 3: Reconocimiento de Transiciones de Intensidad

Estos estudios evaluaron si señales con intensidades cercanas son diferenciables en la cara interna de la muñeca y si los cambios ascendentes y descendentes son igualmente perceptibles. Ambos presentaron señales consecutivas con diferencias del 10 % de intensidad, recorriendo el rango completo en dos tramos: ascendente (0–100 %) y descendente (100–0 %). El Estudio 2 presentó primero el tramo ascendente; el Estudio 3 invirtió el orden como corrección de diseño.

En el Estudio 2, el tramo ascendente se detectó de forma consistente (3–4/4 participantes, ≈ 2 s), pero el descendente mostró un patrón irregular, con la mayoría de las transiciones sin detectar. El análisis post-hoc identificó la causa: al iniciar el tramo descendente, el participante acumulaba ya aprox. 28 s de exposición continua, superando los 100 s al finalizarlo. La saturación sensorial cutánea acumulada (Jones & Tan, 2013) comprometió la detectabilidad de los cambios graduales. Este hallazgo evidenció un problema de diseño experimental que Yahp! permitió corregir directamente: el Estudio 3 replicó la mecánica con el orden invertido. El tramo descendente presentado sin exposición acumulada exhibió tasas de detección y latencias comparables a las del ascendente (2–4/4 participantes, $\approx 1,2$ –2,7 s), sugiriendo que la asimetría del Estudio 2 fue un artefacto del orden de presentación y no una propiedad intrínseca de la dirección del tramo. La detección del tramo descendente fue del 17,5 % con exposición acumulada y del 75 % sin ella, lo que sugiere un efecto de saturación. Persisten dos transiciones problemáticas en ambos estudios: $0 \rightarrow 10$ % (coherente con el umbral absoluto del Estudio 1) y $10 \rightarrow 0$ % (con mayor latencia: 3,25 s).

3.3 Estudio 4: Reconocimiento de Patrones Espaciales

Este estudio evaluó si los participantes distinguen patrones vibrotáctiles con desplazamientos espaciales tanto continuos como discontinuos, reconocen su dirección y detectan secuencias no aprendidas. Se definieron cinco patrones: dos con desplazamiento continuo (direcciones muñeca–codo y codo–muñeca), dos con desplazamiento discontinuo en las mismas direcciones y uno con activaciones solapadas pero sin progresión espacial reconocible. Tras una breve fase de aprendizaje, los patrones se presentaron en orden aleatorio para su identificación.

Los patrones continuos y uno de los discontinuos se reconocieron con un 80 % de precisión. El patrón discontinuo en dirección codo–muñeca tuvo un menor desempeño (40 %), confundido frecuentemente con el patrón continuo en la misma dirección. El patrón desordenado fue clasificado consistentemente como uno de los patrones discontinuos conocidos, lo que sugiere un sesgo de interpretación hacia configuraciones familiares. Estos resultados indican que la percepción depende más de la coherencia de la progresión espacial que del solapamiento físico del estímulo.

4 Conclusiones y Trabajo Futuro

Los estudios presentados permiten avanzar en la caracterización del espacio perceptual vibrotáctil en el antebrazo y evaluar el rol de Yahp! como soporte para la experimentación iterativa.

Los hallazgos confirman un umbral de detección absoluta por encima del 10 % de intensidad para el actuador y localización evaluados, consistente con la literatura. Las latencias observadas (inferiores a 3,5 s para intensidades sobre el umbral) sugieren una ventana temporal acotada para el reconocimiento de estímulos, relevante para el diseño de alertas hápticas. La asimetría inicial entre transiciones ascendentes y descendentes se explica, a partir del Estudio 3, como un artefacto de la saturación sensorial, subrayando la necesidad de controlar la exposición acumulada en estudios psicofísicos. El ciclo de identificación del problema en el Estudio 2 y su corrección en el Estudio 3 ilustra el valor de Yahp! para la exploración sistemática de hipótesis, al permitir re-especificar un protocolo corregido con el mismo lenguaje declarativo sin reescribir infraestructura. Esto demuestra el flujo de trabajo iterativo previsto de la herramienta.

El Estudio 4 sugiere que la percepción de continuidad espacial depende de la coherencia de la progresión del estímulo y no del solapamiento físico entre actuadores; el sesgo de completitud observado tiene implicancias directas para el diseño de lenguajes hápticos, ya que estímulos no previstos podrían interpretarse erróneamente como elementos válidos del lenguaje.

El trabajo presenta limitaciones: un único tipo de actuador y región corporal, y un tamaño muestral reducido. Esto último responde al carácter exploratorio y de prueba de viabilidad de los estudios, orientados a demostrar la capacidad de iteración de Yahp! más que a establecer parámetros poblacionales. Por ello se reportan métricas descriptivas, se omite el análisis inferencial y los resultados deben interpretarse como tendencias preliminares.

Como trabajo futuro se propone: (i) incorporar el control explícito de la exposición acumulada, (ii) extender el análisis a otras regiones corporales y tipos de actuadores, (iii) aumentar el tamaño muestral, (iv) profundizar en la relación entre patrones espaciales y procesos cognitivos, y (v) realizar una evaluación formal de usabilidad de Yahp! con experimentadores.

En síntesis, este trabajo contribuye a la caracterización de la percepción vibrotáctil y evidencia el valor de Yahp! como herramienta para estructurar procesos de experimentación iterativa en el diseño de interfaces hápticas.

References

- Ackerley, R., Sjöberg, I., Wester, H., Olausson, H., & Wasling, H. (2014). Touch perceptions across skin sites: Differences between sensitivity, direction discrimination and pleasantness. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 8, 54. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2014.00054>
- Balaguer, F., & Gutierrez, L. (2026). Bootstrapping IoT provisioning with PoMA. *Proceedings of the 8th International Workshop on Software Engineering Research and Practices for the IoT (SERP4IoT '26)*.
- Huang, B., Ren, S., Luo, Y., Cheng, Q., Cai, H., Sang, Y., Sousa, M., Dietz, P., & Wigdor, D. (2025). VibraForge: A scalable prototyping toolkit for creating spatialized vibrotactile feedback systems. *Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–18. <https://doi.org/10.1145/3706598.3714273>
- Jones, L., & Tan, H. (2013). Application of psychophysical techniques to haptic research. *Haptics, IEEE Transactions on*, 6, 268–284. <https://doi.org/10.1109/TOH.2012.74>
- Jönsson, E., Wasling, H., Wagnbeck, V., Dimitriadis, M., Georgiadis, J., Olausson, H., & Croy, I. (2015). Unmyelinated tactile cutaneous nerves signal erotic sensations. *The journal of sexual medicine*, 12. <https://doi.org/10.1111/jsm.12905>
- Mihail, T., & Vatavu, R.-D. (2022). VIREO: Web-based graphical authoring of vibrotactile feedback for interactions with mobile and wearable devices. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 39, 1–19. <https://doi.org/10.1080/10447318.2022.2109584>
- Pezent, E., Cambio, B., & O'Malley, M. (2020). Syntacts: Open-source software and hardware for audio-controlled haptics. *IEEE Transactions on Haptics, PP*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/TOH.2020.3002696>
- Tau, M., Gutierrez, J., Rodriguez, A., & Balaguer, F. (2026). Yahp!: Yet another haptic probe. *Proceedings of the 21st International Conference on Computer Graphics, Interaction and Visualization Theory and Applications - GRIVAPP*, 371–377. <https://doi.org/10.5220/0014454200004728>

5 Anexo: Detalles de los Estudios

5.1 Estudio 1: Umbrales de Detección por Intensidad

Preguntas de investigación (RQ):

- ¿Qué intensidades de vibración son detectables? (RQ 1.1)
- ¿Cuánto tiempo requiere la detección? (RQ 1.2)

Participantes. 5 individuos (2 mujeres y 3 hombres) entre 20 y 40 años.

Mecánica. Se presentó una secuencia fija de intensidades 40 %, 60 %, 10 %, 20 % y 70 %, con un tiempo máximo de 5 s por estímulo o hasta que el participante respondiera (sin respuesta en caso contrario). Las pausas entre estímulos fueron aleatorias, de entre 10 y 15 s, para evitar anticipación y fatiga.

Table 1. Resultados del Estudio 1. —: sin respuesta.

Intensidad (%)	Éxitos	Fallos	Tiempo prom. (s)
10	0	5	—
20	5	0	2,36
40	5	0	3,04
60	5	0	3,15
70	5	0	2,54

Resultados. La Tabla 1 resume los resultados obtenidos. La intensidad del 10 % no fue detectada por ningún participante, situando el umbral de detección absoluta entre 10 % y 20 % para este actuador y localización. Las intensidades del 20 % en adelante se detectaron en los 5/5 participantes, con tiempos por debajo de 3,5 s. Los tiempos de detección no presentan una relación monótona con la intensidad, lo que sugiere interacciones entre ambas variables que merecen investigación con una muestra mayor.

5.2 Estudio 2: Reconocimiento de Transiciones de Intensidad

Preguntas de investigación:

- ¿Son reconocibles los cambios de intensidad consecutivos? (RQ 2.1)
- ¿Funcionan igualmente los cambios ascendentes y descendentes? (RQ 2.2)

Participantes. 4 individuos (1 mujer y 3 hombres) entre 20 y 40 años.

Mecánica. Se presentaron incrementos del 10 % desde 0 % hasta 100 % (tramo ascendente) y, posteriormente, desde 100 % hasta 0 % (tramo descendente), con un tiempo máximo de 10 s por estímulo o hasta que el participante respondiera (sin respuesta en caso contrario).

Resultados. La Tabla 2 resume los resultados para RQ 2.1 y RQ 2.2. Las transiciones del tramo ascendente fueron detectadas de forma consistente (3–4/4 participantes, ≈ 2 s). El tramo descendente presentó un patrón irregular: el análisis post-hoc identificó que, al iniciar dicho tramo, el participante ya acumulaba

Table 2. Resultados del Estudio 2. Ok: detecciones exitosas; T: tiempo promedio de detección (s); —: sin respuesta.

Tramo $\uparrow$ (%)	Ok	T	Tramo $\downarrow$ (%)	Ok	T
0 $\rightarrow$ 10	0	—	100 $\rightarrow$ 90	0	—
10 $\rightarrow$ 20	3	2,07	90 $\rightarrow$ 80	1	4,54
20 $\rightarrow$ 30	4	2,21	80 $\rightarrow$ 70	0	—
30 $\rightarrow$ 40	4	1,89	70 $\rightarrow$ 60	1	3,35
40 $\rightarrow$ 50	4	1,88	60 $\rightarrow$ 50	0	—
50 $\rightarrow$ 60	4	1,92	50 $\rightarrow$ 40	0	—
60 $\rightarrow$ 70	4	2,13	40 $\rightarrow$ 30	0	—
70 $\rightarrow$ 80	3	1,95	30 $\rightarrow$ 20	1	3,59
80 $\rightarrow$ 90	3	1,81	20 $\rightarrow$ 10	4	2,02
90 $\rightarrow$ 100	3	2,04	10 $\rightarrow$ 0	0	—

aproximadamente 28 s de exposición continua del tramo anterior, superando los 100 s al finalizarlo. La saturación sensorial cutánea acumulada (Jones & Tan, 2013) ofrece una explicación parcial de la caída en la detectabilidad de los cambios graduales. El patrón, sin embargo, no es estrictamente monótono: la transición 0 $\rightarrow$ 10 % (inicio del tramo, $\approx$ 28 s de exposición) no fue detectada por ningún participante, mientras que 20 $\rightarrow$ 10 % (final, $\approx$ 100 s) lo fue por los cuatro, lo que sugiere que la cercanía al umbral absoluto interactúa con la saturación. El estudio resultó inconcluso respecto a RQ 2.2, pero evidenció la necesidad de controlar explícitamente la exposición acumulada como variable experimental.

5.3 Estudio 3: Transiciones con Orden Invertido

Preguntas de investigación:

- ¿Mejora la detección descendente sin exposición acumulada previa? (RQ 3.1)
- ¿Se replica el patrón ascendente del Estudio 2 cuando se presenta en segundo lugar? (RQ 3.2)

Participantes. 4 individuos (2 mujeres y 2 hombres) entre 20 y 40 años.

Mecánica. Idéntica a la del Estudio 2, con el orden invertido: tramo descendente primero, ascendente a continuación.

Resultados. La Tabla 3 resume los resultados para RQ 3.1 y RQ 3.2. El tramo descendente, presentado sin exposición acumulada, exhibió tasas de detección (2–4/4 participantes) y latencias ($\approx$ 1,2–2,7 s) comparables a las del tramo ascendente, sugiriendo que la asimetría observada en el Estudio 2 fue un artefacto

Table 3. Resultados del Estudio 3. Ok: detecciones exitosas; T: tiempo promedio de detección (s).

Tramo $\uparrow$ (%)	Ok	T	Tramo $\downarrow$ (%)	Ok	T
0 $\rightarrow$ 10	2	2,38	100 $\rightarrow$ 90	3	1,52
10 $\rightarrow$ 20	3	1,23	90 $\rightarrow$ 80	3	1,20
20 $\rightarrow$ 30	3	1,30	80 $\rightarrow$ 70	3	1,59
30 $\rightarrow$ 40	3	1,28	70 $\rightarrow$ 60	3	1,68
40 $\rightarrow$ 50	4	1,24	60 $\rightarrow$ 50	2	1,35
50 $\rightarrow$ 60	3	1,04	50 $\rightarrow$ 40	2	1,76
60 $\rightarrow$ 70	3	1,34	40 $\rightarrow$ 30	3	2,51
70 $\rightarrow$ 80	4	1,84	30 $\rightarrow$ 20	4	1,34
80 $\rightarrow$ 90	3	1,47	20 $\rightarrow$ 10	4	2,73
90 $\rightarrow$ 100	4	1,92	10 $\rightarrow$ 0	3	3,25

del orden de presentación y no una propiedad intrínseca de la dirección del cambio. La detección del tramo descendente fue del 17,5 % (7/40 transiciones) en el Estudio 2 y del 75 % (30/40) en el Estudio 3, lo que sugiere un efecto de la exposición acumulada sobre la detectabilidad. Dado que ambos estudios usaron participantes distintos y difieren en el orden de presentación, no fue aislado el efecto de la saturación de las diferencias inter-sujeto y de práctica. Persisten dos transiciones problemáticas: 0 $\rightarrow$ 10 % (coherente con el umbral absoluto identificado en el Estudio 1) y 10 $\rightarrow$ 0 % (con mayor latencia: 3,25s), que delimitan los márgenes del espacio perceptible útil.

5.4 Estudio 4: Reconocimiento de Patrones Espaciales

Preguntas de investigación:

- ¿Son identificables patrones continuos y discontinuos tras una breve fase de aprendizaje? (RQ 4.1)
- ¿Es discernible la dirección del patrón espacial? (RQ 4.2)
- ¿Son detectables las secuencias no aprendidas? (RQ 4.3)

Participantes. 5 individuos (3 mujeres y 2 hombres) entre 20 y 40 años.

Patrones. Se evaluaron cinco secuencias con tipo de desplazamiento y dirección específicos (ver Tabla 4). El patrón continuo (PC) describe un desplazamiento suave a lo largo del antebrazo con solapamiento entre motores adyacentes; el patrón discontinuo (PD) corresponde a un desplazamiento por saltos sin solapamiento; y el patrón aleatorio (PA) no presenta progresión espacial reconocible. Los motores se numeraron de M1 a M4, siendo M1 el correspondiente a la muñeca y M4 el del codo. Las direcciones evaluadas fueron: ascendente (muñeca-codo, $M1 \rightarrow M4$) y descendente (codo-muñeca, $M4 \rightarrow M1$).

Table 4. Caracterización de patrones espaciales del Estudio 4.

ID	Tipo	Dirección	Descripción
PC-1	Continuo	Ascendente	Motores activados en secuencia con solapamiento de señales entre adyacentes. Cada motor: rampa 0 %-10 %-25 %-30 %-40 % durante 5 s; luego activación del siguiente y rampa 40 %-30 %-25 %-10 %-0 % durante 5 s. Orden: M1-M2-M3-M4. Total: 20 s.
PC-2	Continuo	Descendente	Idéntico a PC-1. Orden inverso (M4-M3-M2-M1). Total: 20 s.
PD-1	Discontinuo	Ascendente	Secuencia sin solapamiento. Cada motor al 30 % durante 5 s y luego 0 %. Orden: M1-M2-M3-M4. Total: 21 s.
PD-2	Discontinuo	Descendente	Idéntico a PD-1. Orden inverso (M4-M3-M2-M1). Total: 21 s.
PA	Aleatorio	Sin dirección	Activaciones desordenadas con intensidades entre 0 % y 40 %, sin progresión espacial definida aunque con solapamiento entre actuadores adyacentes. Total: 20 s.

Mecánica. *Fase de aprendizaje:* un patrón ascendente de cada tipo se presentó en secuencia fija (de tipo continuo primero; discontinuo posteriormente), cada uno precedido de una etapa de explicación y confirmación, seguida de una pausa aleatoria de 3–6 s. *Fase de evaluación:* los cinco patrones se presentaron en orden aleatorio. Cada presentación incluyó una pausa previa de 3–6 s y, tras la ejecución del estímulo, el participante debía identificar el patrón percibido mediante selección con imágenes (con orden aleatorio y distractores específicos por cada patrón).

Table 5. Matriz de confusión de resultados del Estudio 4.

Real \ Respuesta	PC-1	PC-2	PD-1	PD-2	Precisión (%)
PC-1	4	0	1	0	80
PC-2	0	4	0	1	80
PD-1	1	0	4	0	80
PD-2	0	3	0	2	40
PA	0	0	0	5	0

Resultados. La Tabla 5 presenta la matriz de confusión con el resumen de resultados para las tres preguntas de investigación. Los patrones continuos (PC-1 y PC-2) y el discontinuo ascendente (PD-1) fueron identificados correctamente por el 80 % de los participantes. El patrón discontinuo descendente (PD-2) registró solo 40 % de aciertos, siendo confundido mayoritariamente con su contraparte continuo (PC-2). El patrón aleatorio (PA) fue clasificado como discontinuo (PD-2) por el 100 % de los participantes, revelando un sesgo de completitud: ante un estímulo ambiguo, los participantes tienden a asignar el patrón conocido más similar. El hecho de que PA incluyera solapamiento de señales entre actuadores adyacentes, pero fuera percibido como discontinuo, indica que la coherencia de la progresión espacial prima sobre el solapamiento físico de estímulos en la formación de la percepción.