

## EL CEREBRO DEL ARQUITECTO Y LA MANO PENSANTE

### THE ARCHITECT'S BRAIN AND THE THINKING HAND

Gaia Leandri, Susana Iñarra Abad, Francisco Juan Vidal, Massimo Leandri

doi: 10.4995/ega.2022.18434

Tras algunas décadas de entusiasmo por el uso de las herramientas CAD en el diseño arquitectónico, surge ahora la preocupación sobre la pérdida de creatividad en el proceso de creación del proyecto, debido a la estandarización del procesamiento informático y al movimiento repetitivo de las manos. Diferentes teorías defienden que la percepción háptica durante el dibujo a mano alzada favorece la creatividad y así la generación de nuevas ideas. Las investigaciones sobre la función cerebral han demostrado que el movimiento percibido de la mano puede generar actividad en áreas cognitivamente relevantes de la corteza parietal y frontal, posiblemente relacionadas con la creatividad. Sin embargo, hasta el momento no se han realizado estudios experimentales para analizar la actividad cerebral durante el dibujo a mano. El presente artículo describe una investigación llevada

a cabo en la que se ha comparado la actividad electroencefalográfica durante el dibujo arquitectónico a mano alzada frente al dibujo CAD con ratón. Los resultados obtenidos revelan que el dibujo a mano está relacionado con una actividad cerebral mayor, lo que respaldaría la tesis de que la creatividad se ve reforzada por los movimientos libres de la mano sobre el papel.

**PALABRAS CLAVE: DIBUJO A MANO, CAD, TABLETA GRÁFICA, ELECTROENCEFALOGRAMA, CREATIVIDAD, PERCEPCIÓN HÁPTICA**

*After a few decades of enthusiasm for the use of CAD tools in architectural design, there is now concern about the impaired creativity due to the standardization of computer processing and the repetitive movement of the hands. Several theories suggest that haptic perception during freehand*

*drawing favours creativity and thus generation of new ideas. Research on brain function has shown that perceived hand movements can trigger activity in cognitively relevant areas of the parietal and frontal cortex, possibly related to creativity. However, so far no experimental studies have been conducted to analyze the brain activity during hand drawing. This article describes an investigation in which the electroencephalographic activity during freehand architectural drawing has been compared to CAD drawing with a mouse. The results obtained reveal that hand drawing is related to increased brain activity, which would support the hypothesis that creativity is enhanced by free hand movements on paper.*

**KEYWORDS: FREEHAND DRAWING, CAD, GRAPHIC TABLET, ELECTROENCEPHALOGRAPHY, CREATIVITY, HAPTIC PERCEPTION**



## Introducción

Aunque el predominio del sentido de la vista ha sido defendido por las corrientes filosóficas occidentales, el papel cognitivamente esencial de la mano se ha destacado desde la antigüedad. El filósofo griego Anaxágoras ya resalta la importancia de las manos como los órganos del cuerpo humano que nos han hecho más inteligentes que los animales (Diels, 1974). Entre las corrientes recientes, Heidegger (1927) vuelve a poner el foco en la importancia del tacto, en contraposición a la vista, en nuestra comprensión del entorno.

Desde la introducción del diseño asistido por ordenador (CAD), en el que el proceso de “dibujar la arquitectura” se reduce a una entrada de datos a través del teclado y el clic del ratón, son muchos los que critican ahora sus evidentes limitaciones (Scheer, 2014). Pallasmaa (2012) expresa su preocupación sobre la hegemonía del ordenador en la arquitectura afirmando que “el ordenador crea una distancia entre el autor y el objeto, mientras que el dibujo a mano coloca al proyectista en un contacto háptico con el objeto o el espacio [...] La obra creativa exige identificación, empatía y compasión corporales y mentales”

En el dibujo CAD los movimientos de la mano, clic con el ratón y pulsar el teclado, no responden a la forma del dibujo resultante, mientras que en el dibujo a mano alzada existe una sintonía entre el movimiento de la mano sobre el papel y el trazo creado. Lo que nos muestran las investigaciones actuales es que tal diferencia en la actividad motora podría afectar a la creatividad en el proceso y por tanto al nacimiento de nuevas ideas. Esta noción está fuertemente respalda-

da por la evidencia actual de que los movimientos voluntarios de la mano alimentan la creatividad a través de varios mecanismos dentro del sistema nervioso.

Las tabletas gráficas y las aplicaciones de *software raster* son un nuevo medio para dibujar en el ordenador con una percepción similar a la del papel, pero aprovechando las múltiples ventajas de la herramienta digital: dibujo por capas, borrar fácilmente, cambiar la pluma o el pincel, disponibilidad de colores, edición y almacenamiento del trabajo realizado (Richards, 2013). En las tabletas de última generación, además, se añade la sensibilidad de la pantalla a la presión, la inclinación y la orientación del lápiz, de forma que la percepción háptica es muy similar a la del lápiz o pincel sobre el papel.

Desde el punto de vista biológico, se considera la mano como un extraordinario instrumento por el cual el ser humano interactúa con el medio ambiente y, junto con el cerebro, ha supuesto la base de la evolución humana (Napier, 1962). Este instrumento permite que los humanos podamos expresar nuestra creatividad y para que esto ocurra, tiene que transmitir información háptica sobre su propio estado y el del entorno. Las fibras nerviosas sensoriales de la mano terminan en un área comparativamente amplia del córtex cerebral parietal, la llamada “área sensorial primaria” que, junto con los labios, es la parte del cuerpo más grande representada en el córtex (Rizzolati y Kalaska, 2013). Esta división anatómica ha sido representada mediante el “homúnculo cortical” (Penfield y Rasmussen, 1950), una representación visual del concepto de “el cuerpo dentro del cerebro” (Fig. 1). El homúnculo muestra la enorme re-

## Introduction

Although the predominance of the sense of sight has been asserted by Western philosophical currents, the cognitive essential role of the hand has been highlighted since ancient times.

The Greek philosopher Anaxagoras already highlighted the importance of the hands as the organs of the human body that have made us more intelligent than animals (Diels, 1974). Among recent currents, Heidegger (1927) underlines the importance of touch, as opposed to sight, in our understanding of the environment. Since the introduction of computer-aided design (CAD), in which the process of “drawing the architecture” is reduced to inputting data via keyboard and mouse clicks, many now criticize its obvious limitations (Scheer, 2014). Pallasmaa (2012) expresses his concern about the hegemony of the computer in architecture, stating that “The computer creates a distance between the maker and the object, whereas drawing by hand [...] put[s] the designer in a haptic contact with the object, or space [...] Creative work calls for a bodily and mental identification, empathy and compassion” In CAD drawing, the movements of the hand, clicking the mouse and pressing the keyboard, do not follow the shape of the resulting drawing, while in the freehand drawing there is a synchrony between the movement of the hand on the paper and the created path. What current research shows us is that such a difference in motor activity could affect creativity in the process and therefore the birth of new ideas. This notion is strongly supported by the current evidence that voluntary hand movements foster creativity through various mechanisms within the nervous system.

Graphic tablets and raster software applications are a new means of drawing on the computer with a perception similar to that of paper, but taking advantage of the many facilities of the digital tool: drawing by layers, easy erasing, changing pen or brush, color availability, editing and storage of the work done (Richards, 2013). Further, in the latest generation tablets, sensitivity to pressure, inclination and orientation of the pen are added, so that the haptic perception is very similar to that of the pencil or brush on paper. From a biological point of view, the hand may be considered an extraordinary instrument by which the human being interacts with the environment and which, together with the brain, has been the basis of human evolution (Napier, 1962). This instrument allows us humans to



express our creativity and for this to happen, it has to transmit haptic information about its own state and that of the environment. Sensory nerve fibers from the hand terminate in a comparatively large area of the parietal cerebral cortex, named "primary sensory area" which, along with the lips, is the largest body part represented in the cortex (Rizzolati and Kalaska, 2013). This anatomical arrangement is represented by the "cortical homunculus" (Penfield and Rasmussen, 1950), a visual representation of the concept of "the body within the brain" (Fig. 1). The homunculus shows the enormous relevance that the sensations of the hand play not only for the activities of daily life, but also for more exclusively cognitive uses, such as writing, drawing and, in general, creating new and useful things. The information from the hand about its position, muscular effort, movement, superficial and deep touch, in short, haptic information (Hasiao and Bensmaia, 2007), represents an essential part of the process that leads to the programming of its movements destined to creative tasks.

The recent important advances in neuroscience allow us to study the nervous system in operation, so it has been possible to support the theories on the motor and sensory capacities of the hand. The two main techniques used for this study are the Electroencephalogram (EEG) and the Functional Nuclear Magnetic Resonance (fNMR). While the EEG directly measures the electrical fields generated by the neurons (Freeman and Quiroga, 2013), the fNMR only provides information about blood supply, which is expected to be approximately proportional to the number of neurons excited, so it is an indirect measure of neuronal activity (Poldrack, 2012). An area of the cerebral cortex crucial for connecting cognition with movement is the complementary motor area (Nachev et al., 2008). Below it, within the premotor cortex, is an area populated by "mirror neurons" (Kohler et al., 2002) (Fig. 1). These neurons are ambivalent in that they behave like motor neurons, but are also activated by sensory inputs. Due to this property, they are believed to play a key role in creativity (Matheson & Kenett, 2020) and more importantly, these two areas receive strong connections from the parietal cortex, the main centre dedicated to process the meaning of sensory afferents (Rizzolati and Kalaska, 2013). In summary, there seems to be enough evidence to support the idea that the perception of movements during freehand drawing could be of paramount

### 1. Representación de las proyecciones sensoriales de las manos y la cara en la corteza sensorial primaria (sombreada)

levancia que las sensaciones de la mano juegan no solo para las actividades de la vida cotidiana, sino también para usos más exclusivamente cognitivos, como escribir, dibujar y, en general, crear cosas nuevas y útiles. La información de la mano sobre su posición, esfuerzo muscular, movimiento, tacto superficial y profundo, en definitiva, información háptica (Hasiao y Bensmaia, 2007), representa una parte esencial del proceso que conduce a la programación de sus movimientos destinados a tareas creativas.

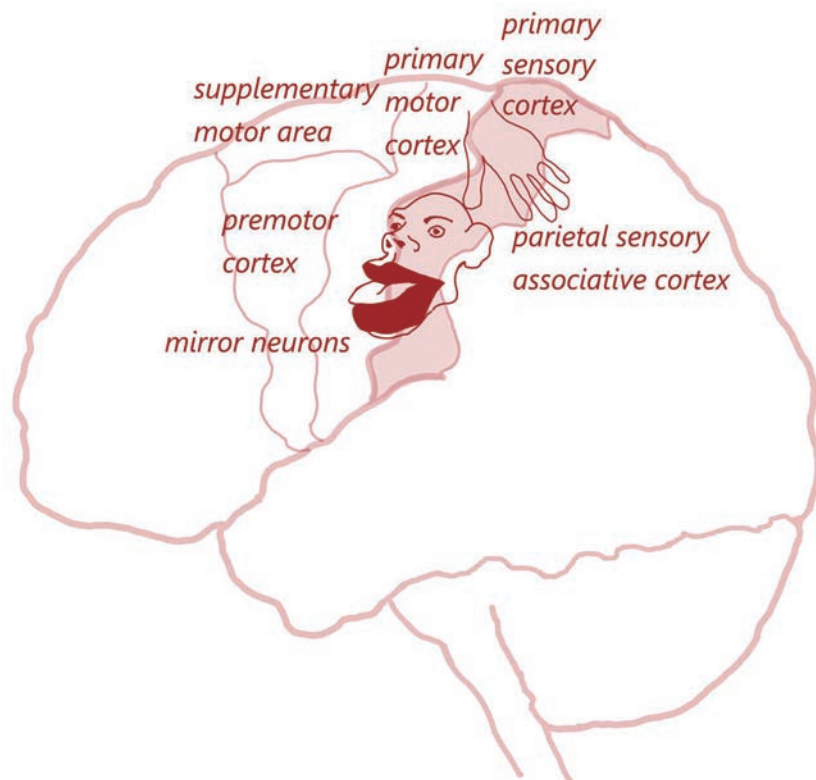
Los recientes grandes avances en la neurociencia permiten estudiar el sistema nervioso en funcionamiento, por lo que se han podido contrastar las teorías sobre las capacidades motoras y sensoriales de la mano. Las dos técnicas principales empleadas para este estudio son el *Electroencefalograma* (EEG) y la *Resonancia Magnética Nuclear Funcional* (fNMR). Mientras que el EEG mide directamente los campos eléctricos generados por la actividad neuronal (Freeman y Quiroga, 2013), la fNMR solo proporciona información sobre el suministro de sangre, que se espera que sea aproximadamente proporcional a la cantidad de neuronas excitadas, por lo que es una medida indirecta de la actividad neuronal (Poldrack, 2012).

Un área de la corteza cerebral crucial para conectar la cognición con el movimiento es el área motora complementaria (Nachev et al., 2008). Debajo, dentro de la corteza premotora, hay un área poblada por "neuronas espejo" (Kohler et al., 2002) (Fig. 1). Estas neuronas son ambivalentes, ya que se comportan como neuronas motoras, pero también son activadas por impulsos sensoriales. Debido a esta propiedad, se cree que juegan un papel clave en

### 1. Representation of hands and face sensory projections on the primary sensory cortex (shadowed)

la creatividad (Matheson y Kenett, 2020) y lo que es más importante, estas dos áreas reciben fuertes conexiones desde la corteza parietal, el principal centro dedicado a procesar el significado de los transmisores sensoriales (Rizzolati y Kalaska, 2013). En resumen, parece haber suficiente evidencia para apoyar la idea de que la percepción de los movimientos durante el dibujo a mano alzada podría ser de suma importancia durante el proceso creativo.

La actividad sensorial en el proceso de diseño puede ser estudiada a través de los *Potenciales Evocados Somatosensoriales* (SEP). Los SEP son respuestas electroencefalográficas registradas desde el cuero cabelludo en ubicaciones sobre áreas corticales y sincronizadas en el tiempo a un estímulo de naturaleza eléctrica o mecánica que activa las fibras somatosensoriales (Muzyka y Estephan, 2019). Todos los componentes del SEP se nombran según su polaridad (positiva o negativa) y el tiempo en milisegundos (ms) transcurrido entre el estímulo y su aparición en el registro (dicho intervalo se denomina "latencia" en la jerga neurofisiológica). Es bien sabido que la primera parte del SEP (componentes N20 y P30) es el reflejo de la llegada de la descarga sensorial a la corteza parietal (área sensorial primaria) y solo está relacionada con las características del estímulo. Los componentes posteriores se deben al procesamiento cortical posterior y dependen del nivel de cognición (Desmedt et al., 1983). Las diferentes propiedades de los últimos componentes llevaron a los neurofisiólogos a llamarlos también *Potenciales Relacionados con Eventos* (ERP), lo que significa que no hay un vínculo directo con el estímulo, sino que están más o menos relacionados con el estímulo y que



1

sus parámetros, como la latencia y la amplitud, se deben principalmente al procesamiento cerebral (Luck, 2014). Por tales razones, los ERP se han utilizado para investigar las reacciones subjetivas a los estímulos durante tareas psicológicamente relevantes (Luck, 2014).

Con el objetivo de estudiar si las diferencias entre el dibujo a mano alzada y el dibujo CAD afectan a la capacidad creativa durante el proceso de diseño, se ha llevado a cabo un estudio experimental entre la Università di Genova y la Universitat Politècnica de València. Para ello, se ha explorado la actividad neuronal evocada en la corteza cerebral contralateral por los movimientos realizados por la mano en dibujo a mano alzada versus CAD. La hipótesis de trabajo es que una mayor actividad cortical puede estar relacionada con un mayor estado cognitivo, posiblemente produciendo resultados más creativos.

### Estudio experimental

El número de participantes en el estudio fue de 6, 4 mujeres y 2 hom-

bres, con edades comprendidas entre los 25 y los 35 años, todos ellos diestros. Todos estaban familiarizados tanto con el dibujo digital a mano alzada en tabletas como con el diseño CAD con ratón. El trabajo se ha llevado a cabo en el Laboratorio de Electrofisiología Experimental y Clínica (DINOEMI) de la Universidad de Génova, de acuerdo con el Código de Ética de la Asociación Médica Mundial (Declaración de Helsinki) para experimentos con humanos. Todos los sujetos dieron su consentimiento informado para el procedimiento y manejo de los datos.

### Registro de EEG y ERP

La actividad electroencefalográfica (EEG) se registró a partir de una derivación en el cuero cabelludo sobre el área sensorial de la mano parietal contralateral (posición C3 según el sistema internacional 10-20) referida al oído ipsilateral (Au1). La señal se introdujo en amplificadores de bajo ruido, se adaptó a 10 KHz con un convertidor de analógico a digital (A/D) y se transmitió a un disco duro mediante una aplicación específica. La derivación del registro y el equi-

importance during the creative process. The sensory activity in the design process can be studied through the Somatosensory Evoked Potentials (SEP). The SEPs are electroencephalographic responses recorded from the scalp at locations over definite cortical areas and synchronized in time to a stimulus of an electrical or mechanical nature that activates the somatosensory fibers (Muzyka and Estephan, 2019). All SEP components are named according to their polarity (positive or negative) and the time in milliseconds (ms) elapsed between the stimulus and their appearance in the recording (this interval is called "latency" in neurophysiological jargon). It is well known that the first part of the SEP (components N20 and P30) is the reflection of the arrival of the sensory discharge in the parietal cortex (primary sensory area) and it is related only to the characteristics of the stimulus. The later components are due to further cortical processing and depend on the level of cognition (Desmedt et al., 1983). The different properties of the later components led neurophysiologists to call them Event-Related Potentials (ERP), which means that there is no direct link with the stimulus, but rather that they are more or less related to the it and that their parameters, such as latency and amplitude, are mainly due to brain processing (Luck, 2014). For such reasons, ERPs have been used to investigate subjective reactions to stimuli during psychologically relevant tasks (Luck, 2014). With the aim of studying whether the differences between freehand drawing and CAD drawing affect creative capacity during the design process, an experimental study has been carried out between the Università di Genova and the Universitat Politècnica de València. To achieve this, the neuronal activity evoked in the contralateral cerebral cortex by the movements of the hand in freehand drawing versus CAD has been explored. The working hypothesis is that higher cortical activity may be related to a higher cognitive state, possibly producing more creative output

### Experimental study

Six subjects have been studied, 4 females and 2 males, aged between 25 and 35 years, all of them right handed. They were familiar with digital freehand drawing on tablet and with CAD drawing with mouse. Our work has been carried out at the Laboratory of Clinical and Experimental Electrophysiology (DINOEMI) at the University of Genova, in accordance with



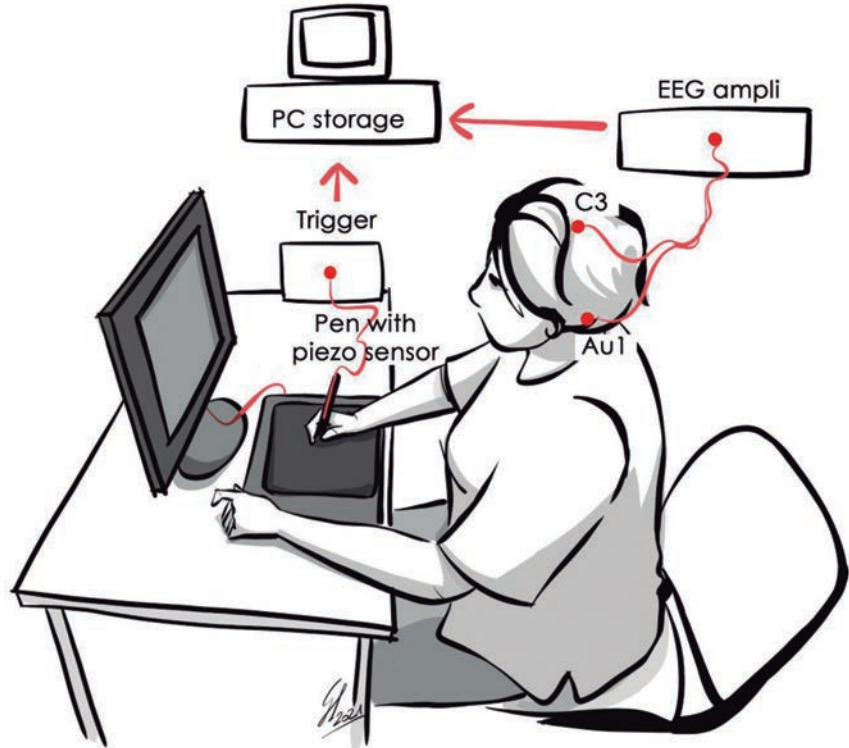
the Code of Ethics of the World Medical Association (Declaration of Helsinki) for experiments involving humans. All subjects provided informed consent to the procedure and handling of data.

### Recording of EEG and ERP

Electroencephalographic activity was recorded from one derivation on the scalp over the contralateral parietal hand sensory area (C3 position according to the 10-20 international system) referred to ipsilateral ear (Au1). The signal was fed into low noise amplifiers, sampled at 10 KHz with an analog to digital (A/D) converter and streamed to a hard disc using a dedicated application. Recording derivation and equipment for signal processing are shown in figure 2. In order to record the ERPs, a synchronizing, or “trigger”, signal is necessary to mark the moment that the sensory message starts travelling from the receptors directed to the cortical areas 1. In our experiments, the trigger signal was generated by a piezoelectric sensor attached to the tablet pen, as already described in a previous paper (Leandri et al., 2021). A similar sensor was attached to the left button of the mouse, to be used in the CAD session (Fig. 3). The acquisition of at least 200 repetitions was necessary to obtain a signal to noise ratio sufficient to detect reliable ERPs. The recorded signals were processed offline first with a zero latency shift software filter (second order Butterworth, 0.1-200Hz) and then averaged 2.

### The Tasks

Two drawing tasks were required to the participants. The first task (Task 1) was to perform a freehand drawing tracing over a cityscape picture that was presented on a low opacity background layer of the drawing (Fig. 4). They were asked to keep the pen just hovering on the tablet when resting, and touch the tablet surface with short drawing strokes. Touching the tablet with the pen would generate the trigger signal and the acquisition of the EEG signal from the scalp, containing the ERP. Drawing with short strokes would assure that a sufficient number of EEG epochs (at least 200) were stored to be averaged. The free raster software GIMP 2.10.30 for Windows was used for freehand drawing on a Intuos© PTK-640 tablet (Wacom Co. Ltd., Saitama, Japan) equipped with a Wacom KP-501E-01 pen to which the piezoelectric sensor was attached (Fig. 3).



2

po para el procesamiento de la señal se muestran en la figura 2. Para registrar los ERP, es necesaria una señal de sincronización o “disparador” para marcar el momento en que el mensaje sensorial comienza a viajar desde los receptores dirigidos a las áreas corticales 1. En el experimento, la señal de activación fue generada por un sensor piezoeléctrico conectado al lápiz de la tableta, como ya se describió en un artículo anterior (Leandri et al., 2021). Se adjuntó un sensor similar al botón izquierdo del ratón, para ser utilizado en la sesión de CAD (Fig. 3).

Fue necesaria la adquisición de al menos 200 repeticiones para obtener una relación señal/ruido suficiente para detectar ERP fiables. Las señales registradas se procesaron fuera de línea primero con un filtro de software de cambio de latencia cero (Butterworth de segundo orden, 0.1-200 Hz) y luego se promediaron 2.

### Las tareas

Cada participante realizó dos tareas de dibujo. La Tarea 1 consistió en realizar un dibujo a mano alzada sobre una imagen mostrada en una

capa de fondo de baja opacidad. La imagen representaba un paisaje urbano (Fig. 4). La señal de disparo y la adquisición de la señal EEG del cuero cabelludo, que contiene el ERP, se activaba con el contacto del pen digital sobre la tableta gráfica, por lo que se pidió a los participantes que mantuvieran el lápiz flotando sobre la tableta mientras descansaban. También se les indicó que dibujaran sobre la superficie de la tableta con trazos cortos, de esta manera asegurábamos que se almacenaran una cantidad suficiente de señales de EEG (al menos 200) para promediarlas. Se utilizó el *software raster* gratuito GIMP 2.10.30 para Windows para dibujar a mano alzada en una tableta Intuos© PTK-640 (Wacom Co. Ltd., Saitama, Japón) equipada con un lápiz Wacom KP-501E-01 al que se le colocó el sensor piezoeléctrico. (Fig. 3).

La Tarea 2 consistió en trazar un paisaje urbano similar (Fig. 5) mediante dibujo CAD, empleando el ratón y el programa AutoCad © (Autodesk, San Rafael, California, EE. UU.) versión estudiante. Para trazar las líneas, se debía mantener



- 2. Esquema del diseño del experimento
- 3. Fotografía de los dos sensores (bandas verdes) acoplados al ratón y al lápiz de la tableta gráfica
- 4. Fotografía del paisaje urbano que se utilizó para la tarea 1: dibujo a mano alzada

- 2. Setup of the experiment
- 3. Photograph of the two piezoelectric sensors (green strips) and connecting leads applied to the tablet pen and mouse
- 4. Photograph of the urbanscape used for task 1: freehand drawing



3

presionado el botón izquierdo del ratón, lo que generaba una señal de activación utilizada para la adquisición de ERP y su posterior procesamiento, al igual que en la Tarea 1.

## Resultados y discusión

### *Dibujo a mano alzada*

Cuando los participantes dibujaron a mano alzada, se pudo registrar un conjunto completo de componentes ERP (Fig. 6 conjunto superior y Fig. 7, trazo superior). Los primeros componentes que pudimos ver en nuestras grabaciones fue el complejo negativo-positivo N20/P30, que refleja la actividad de las neuronas sensoriales que se activan

The second task (Task 2) was to trace over a similar cityscape (Fig. 5) by CAD drawing, using mouse and the Autocad © (Autodesk, San Rafael, California, USA) student version. In order to trace lines the left button of the mouse had to be kept pressed, which generated a trigger signal used for the ERP acquisition and further processing, like in Task 1.

## Results and discussion

### *Freehand drawing*

When the participants drew freehand, a complete set of ERP components could be recorded (Fig. 6 top set and Fig. 7, top trace). The first event that we could see in our recordings was the negative-positive complex N20/P30, which reflects the activity of sensory neurons that are activated first with the arrival of afferent impulses in the cortex. Beyond this, all subsequent components, due to cortical processing, were clearly visible. Their mean



4

### 5. Fotografía del paisaje urbano que se utilizó para la tarea 2: dibujo en CAD

### 5. Photograph of the urbanscape used for task 2: CAD drawing

latencies and amplitudes are shown in Table 1. It is noteworthy that N 50 and N 120 had a particularly high amplitude. These components are affected by attention and stimulus relevance, while the following components P200, N300, and P400 are thought to be linked to emotionally relevant decision processes (Desmedt et al., 1983; Hillyard et al., 1973). It can be concluded that in the freehand drawing the sensory afferents of the hand provided information about the executed movement, as evidenced by the occurrence of N20/P30, and subsequently gave rise to a strong process of attention, most probably independent of the explicit will of the draftsman and prior to any conscious decision.

### CAD drawing with mouse

With this drawing modality, it was possible to record the first two components (N20 and P30) with latency and amplitude very similar to those of the freehand drawing. However, as shown in Table 2, the subsequent components were strongly reduced, starting from N50 (lower set of Fig. 6 and lower trace of Fig. 7). Therefore, the first part of the ERP did not change between Task 1 and Task 2, while the second part was radically different. The N20/P30 represents the exogenous part of the ERP (Desmedt et al., 1983; Luck, 2014) and is only linked to a passive transmission of information about the movement that originates in the muscle and joint receptors of the hand. It tells us that in both cases the kinematics of the movement were not too different. On the other hand, when components reflecting cortical cognitive processes came into play, notable differences could be observed. N50 could still be recorded on the CAD drawings, but with halved amplitude. N120 was much smaller, signifying the near absence of attentional cognition in CAD. The following components, linked to decisional cognition, were almost unobservable, possibly meaning that the CAD drawing process elicits little attention and even less emotionally induced decision making.

### Conclusions

The results of our work provide instrumental evidence that haptic sensory afferents from the hand are linked to a different cognitive state during freehand drawing and CAD drawing. The ERP components that we recorded can be categorized into two groups: the first, consisting of the N20/P30 pair, with no changes to the two tasks, and the second, consisting of the



5

primero con la llegada de los impulsos aferentes a la corteza. Más allá de esto, todos los componentes posteriores, debido al procesamiento cortical, eran claramente visibles. Sus latencias medias y amplitudes se muestran en la Tabla 1. Es de notar que N 50 y N120 tenían una amplitud particularmente alta. Estos componentes se ven afectados por la atención y la relevancia del estímulo, mientras que se cree que los siguientes componentes P200, N300 y P400 están vinculados a procesos de decisión emotivamente relevantes (Desmedt et al., 1983; Hillyard et al., 1973). Se puede concluir que en el dibujo a mano alzada los aferentes sensoriales de la mano proporcionaron información sobre el movimiento ejecutado, como lo atestigua la ocurrencia del N20/P30, y más tarde dieron lugar a un fuerte proceso de atención, muy probablemente independiente de la voluntad explícita del dibujante y anterior a cualquier decisión consciente.

### Dibujo en CAD con ratón

Con esta modalidad de diseño se pudieron registrar las dos primeras componentes (N20 y P30) con características de latencia y ampli-

tud muy similares a las del dibujo a mano alzada. Sin embargo, como se muestra en la Tabla 2, los componentes subsiguientes se redujeron fuertemente, comenzando desde el N50 (conjunto inferior de la Fig. 6 y traza inferior de la Fig. 7). Por consiguiente, la primera parte del ERP no cambió entre la Tarea 1 y la Tarea 2, mientras que la segunda parte fue radicalmente diferente. El N20/P30 representa la parte exógena del ERP (Desmedt et al., 1983; Luck, 2014) y es sólo una especie de transmisión pasiva de la información sobre el movimiento que se origina en los receptores musculares y articulares de la mano. Nos dice que en ambos casos la cinemática del movimiento no es demasiado diferente. Por otro lado, cuando entraron en juego los componentes que reflejan los procesos cognitivos corticales, se pudieron observar diferencias notables. N50 todavía pudo registrarse en los dibujos con CAD, pero aproximadamente a la mitad en amplitud. El N120 fue mucho más reducido, lo que significa la casi ausencia de cognición atencional en CAD. Los siguientes componentes, vinculados a la cognición decisional, obtuvieron peores registros y casi no se pudie-





Tabla 1. Valores medios en ms de las latencias de los principales componentes del ERP evocados por los movimientos a mano alzada, en comparación con las latencias durante el diseño CAD. No hay diferencias estadísticamente significativas entre las dos condiciones

Tabla 2. Valores absolutos medios en  $\mu V$  de las amplitudes pico a línea de base de los principales componentes del ERP durante el dibujo a mano alzada y CAD. La última fila muestra el porcentaje en disminución (%decrmt) en amplitud, tomando la condición de mano alzada como 100% de amplitud. Los dos primeros componentes N20 y P30 no muestran ninguna diferencia estadísticamente significativa. Todos los componentes posteriores muestran una disminución significativa en la amplitud ( $p < 0,05$ , marcado con un asterisco)

Table 1. Mean values in ms of latencies of the main ERP components evoked by the freehand movements, compared to latencies during CAD drawing. There are no statistically significant differences between the two conditions

Table 2. Mean absolute values in mV of peak to baseline amplitudes of the main ERP components during freehand and CAD drawing. The last row shows the percentage in decrement (%decrmt) in amplitude, taking the freehand condition as 100% amplitude. The first two components N20 and P30 do not show any statistically significant difference. All the subsequent components show a significant decrease in amplitude ( $p < 0,05$ , marked with an asterisk)

ron observar, lo que posiblemente significa que el proceso de dibujo con CAD despierta poca atención y todavía menos una toma de decisiones inducida por la emotividad.

### Conclusiones

Los resultados de nuestro trabajo proporcionan una evidencia instrumental de que los aferentes sensoriales hápticos de la mano están vinculados a un estado cognitivo diferente durante el dibujo a mano alzada y el diseño CAD.

Los componentes de ERP que registramos se pueden clasificar en dos grupos: el primero, que consta del par N20/P30, sin cambios en las dos tareas, y el segundo, que cons-

ta del N50 y posteriores, que se ve afectado por la tarea. Los ERP que registramos son asimilables a los componentes temprano y tardío de los SEP revisados por Desmedt (Desmedt et al., 1983). El primer par de componentes N20/P30 es comparable con el par pico N20-P25 de los potenciales somatosensoriales evocados (SEP); refleja la activación de la corteza sensorial primaria y no se ve afectada por la atención u otros estados cognitivos. También se sabe que los componentes posteriores de los SEP dependen en gran medida del estado de atención y posiblemente de otras condiciones cognitivas activas del sujeto. Dichos componentes se originan en áreas asociativas de la cor-

N50 and later, which was affected by the task. These ERPs are comparable to the early and late components of the SEPs reviewed by Desmedt (Desmedt et al., 1983). The first pair of N20/P30 components is similar to the peak N20-P25 pair of the somatosensory evoked potentials (SEPs); it reflects activation of the primary sensory cortex and is not affected by attention or other cognitive states. It is known that the later components of SEPs are highly dependent on the state of attention and possibly other active cognitive conditions of the subject. These components originate in associative areas of the cerebral cortex, where sensory perception is processed according to the disposition of the subject. With such assumptions, it is understandable that the N20/P30 pair in our records did not change between the freehand drawing and the CAD task, because it reflected the elementary activity of that part of the cortex that is not intended for elaborate processing. But the sharp reduction in the amplitude of the later components during the CAD drawing is a token of the very different state of mind in both situations.

From a functional point of view, it is likely that a much larger and more specific amount of neural activity was generated in our experiments during freehand drawing. Although we only recorded signals from the parietal cortical area dedicated to the processing of afferent activity, which acts as a receptor structure, it should be noted that the same cortex also has important links with the supplementary motor area and prefrontal areas, where new ideas can arise, possibly facilitating the process of divergent thought, preliminary to the impulse of creativity.

The results of this study allow us to conclude that the complete computerization of the graphic processes of architecture with the applications in use can reduce the creative capacity and, therefore, the originality of the projects and the birth of new ideas. In this sense, it is necessary to continue insisting, at the educational level, on the use of hand drawing as the best means for the architect to express and develop his ideas. The graphic tablet is thus presented as an opportunity to draw by hand in the digital environment without losing the creative capacity of the author. As Richards (2013) points out, "digital freehand drawing is not an oxymoron". ■

	Ms	N20	P30	N50	P70	N120	P200	N300
Dibujo a mano Freehand drawing	Mean	19.9	30.5	48.6	67.8	115.1	184.3	270.3
	Sd	0.5	3.0	4.1	2.9	5.3	4.3	8.1
CAD	Mean	19.6	29.83	52.6	69.8	118.6	198.1	272.3
	Sd	0.3	2.3	5.7	9.1	5.2	16.0	16.2

Tabla / Table 1

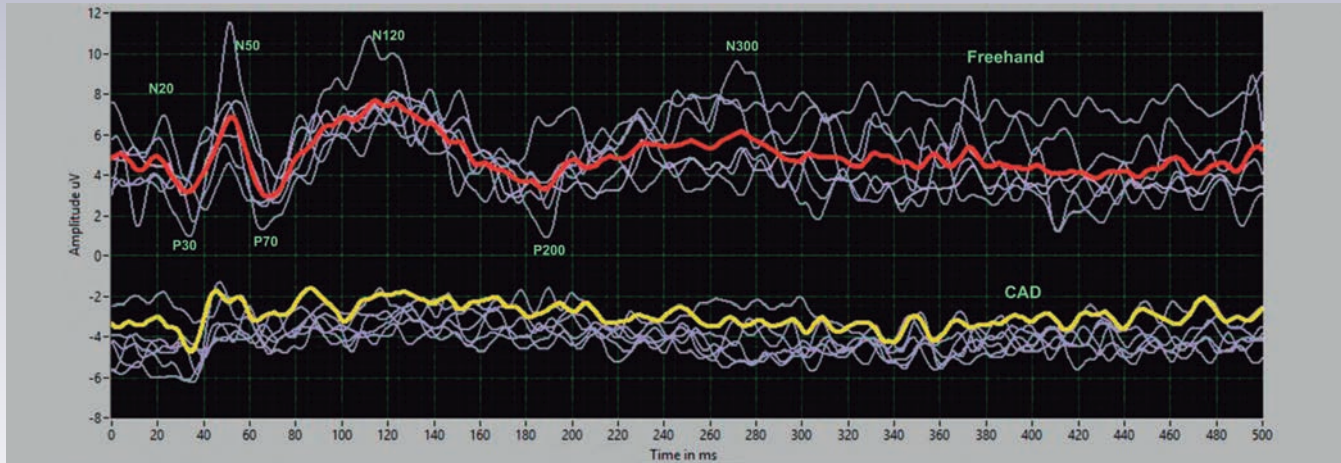
	$\mu V$	N20	P30	N50	P70	N120	P200	N300
Dibujo a mano Freehand drawing	Mean	1.7	0.9	3.6	1.8	4.8	2.0	2.9
	Sd	0.9	0.3	2.5	1.2	1.5	1.1	2.5
CAD	Mean	1.6	0.9	1.1	0.5	0.9	0.5	0.5
	Sd	0.6	0.6	0.3	0.5	0.6	0.4	0.2
% decrmt		6%	2%	*69%	*68%	*80%	*73%	*83%

Tabla / Table 2

### Notes

1 / Since that the travelling time is always expected to be the same, it is possible to apply the technique of "averaging" in order to enhance the ratio between the "signal" (i.e. all components of the EEG that are time locked to the stimulus) and the "noise" (i.e.





6

the components of the EEG due to spontaneous random activity not time related to the stimulus). The statistical technique of averaging is often applied to electric signals and is based on the principle that, given a sufficient number of repetitions, all signal components not time locked with the trigger will eventually reduce to zero, only leaving the synchronized components with their original amplitude.

2 / Peak amplitudes were calculated in microvolts and referred to baseline. A “grand average” (i.e., the average of all averages obtained in the individual recording sessions) was performed, as it is customary in the ERP technique (Luck, 2014), to compensate for inter-subject variability and provide a summary of the trend of the signal.

## References

- DESMEDT, J.E., NGUYEN TRAN HUY, BOURGUET, M., 1983. The cognitive P40, N60 and P100 components of somatosensory evoked potentials and the earliest electrical signs of sensory processing in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 56, 272–282. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(83\)90252-3](https://doi.org/10.1016/0013-4694(83)90252-3)
- DIELS, H., 1974. *Die Fragmente der Vorsokratiker: griechisch und deutsch*. Weidmann, Berlin.
- FREEMAN, W.J., QUIROGA, R.Q., 2013. *Electroencephalography, in: Imaging Brain Function With EEG*. Springer New York, New York, NY, pp. 1–19. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4984-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4984-3_1)
- HASIAO, S., BENSMAIA, S., 2007. Coding of object shape and texture, in: Kaas, J.H., Gardner, E.P. (Eds.), *Somatosensation, The Senses. A Comprehensive Reference*. Elsevier-Academic Press, pp. 55–66.
- HEIDEGGER, M. (1927). *Sein und Zeit*, Max Niemeyer Verlag, Tübingen (en castellano: 2012. *Ser y Tiempo*, Trotta, Madrid).
- HILLYARD, S.A., HINK, R.F., SCHWENT, V.L., PICTON, T.W., 1973. *Electrical Signs of Selective Attention in the Human Brain*. *Science* 182, 177–180. <https://doi.org/10.1126/science.182.4108.177>
- KOHLER, E., KEYSERS, C., UMILTÀ, M.A., FOGASSI, L., GALLESE, V., RIZZOLATTI, G., 2002. *Hearing Sounds, Understanding Actions: Action Representation in Mirror Neurons*. *Science* 297, 846–848. <https://doi.org/10.1126/science.1070311>
- LEANDRI, G., SCHENONE, A., LEANDRI, M., 2021. Detection of movement related cortical potentials in freehand drawing on digital tablet. *Journal of Neuroscience Methods* 360, 109231. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2021.109231>
- LUCK, S.J., 2014. *An introduction to the event-related potential technique*, Second edition. ed. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- MATHESON, H.E., KENNETT, Y.N., 2020. *The role of the motor system in generating creative thoughts*.

teza cerebral, donde la percepción sensorial se procesa de acuerdo con la disposición del sujeto. Con tales premisas, es comprensible que el par N20/P30 en nuestros registros no cambiara entre el dibujo a mano alzada y la tarea de CAD, porque trajo una información elemental a esa parte de la corteza que no está destinada a un procesamiento intenso. Pero la fuerte reducción en la amplitud de los últimos componentes durante el diseño CAD es una muestra del estado mental muy diferente en ambas situaciones.

Desde un punto de vista funcional, es probable que se acumulara una cantidad mucho mayor y más específica de actividad neuronal en nuestros experimentos durante el dibujo a mano alzada. Aunque sólo registramos señales desde el área cortical parietal dedicada al procesamiento de la actividad aferente, que actúa como una estructura receptora, conviene señalar que la misma corteza también tiene vínculos importantes con el área motora suplementaria y las áreas prefrontales, donde pueden surgir nuevas ideas, facilitando posiblemente el proceso de pensamiento divergente, preliminar al impulso de la creatividad.

Los resultados de este estudio permiten concluir que la completa informatización de los procesos gráficos de la arquitectura con las aplicaciones al uso puede mermar

la capacidad creativa y, por lo tanto, la originalidad de los proyectos y el nacimiento de nuevas ideas. En este sentido, es necesario seguir insistiendo, desde la docencia, en la utilización del dibujo a mano como el mejor medio para que el arquitecto exprese y desarrolle sus ideas. La tableta gráfica se presenta, así, como una oportunidad para dibujar a mano en el entorno digital sin perder la capacidad creativa del autor. Como señala Richards (2013) “el dibujo digital a mano alzada no es un oxímoron”. ■

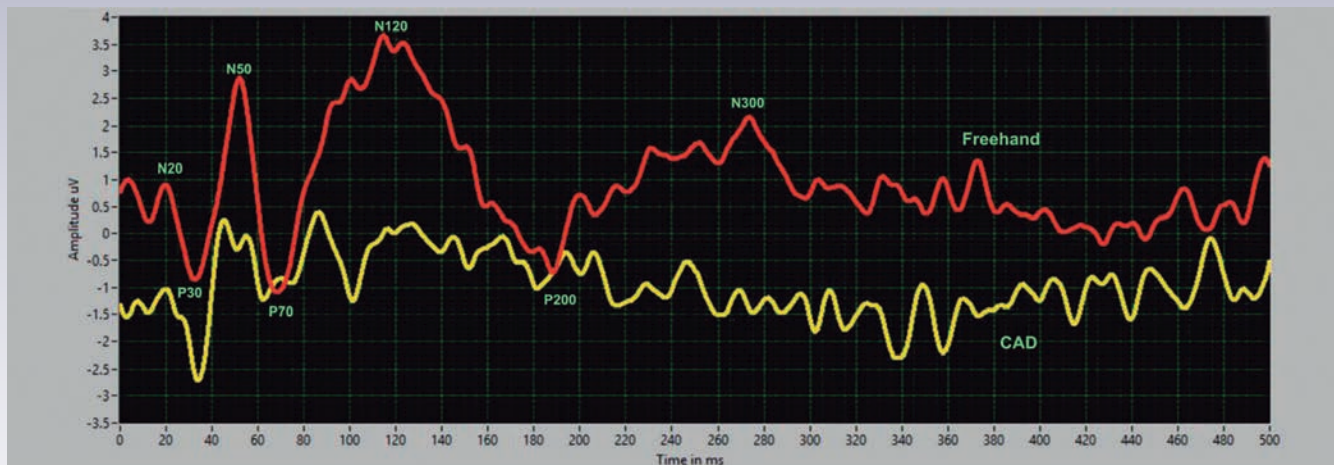
## Notas

1 / Dado que siempre se espera que el tiempo de viaje sea el mismo, es posible aplicar la técnica de “promedio” para mejorar la relación entre la “señal” (es decir, todos los componentes del EEG que están bloqueados en el tiempo con el estímulo) y el “ruido” (es decir, los componentes del EEG debido a la actividad aleatoria espontánea no relacionada con el tiempo del estímulo). La técnica estadística de promediar a menudo se aplica a las señales eléctricas y se basa en el principio de que, dada una cantidad suficiente de repeticiones, todos los componentes de la señal que no estén bloqueados en el tiempo con el disparador eventualmente se reducirán a cero, dejando solo los componentes sincronizados con su amplitud original.

2 / Las amplitudes de los picos se calcularon en microvoltios y se refirieron a la línea de base. Se realizó un “gran promedio” (es decir, el promedio de todos los promedios obtenidos en las sesiones de grabación individuales), como es habitual en la técnica de los ERP (Luck, 2014), para compensar la variabilidad entre sujetos y proporcionar un resumen de la tendencia de la señal.

## Referencias

- DESMEDT, J.E., NGUYEN TRAN HUY, BOURGUET, M., 1983. The cognitive P40, N60 and P100 components of somatosensory evoked potentials and the earliest electrical signs of sensory processing in



7

- man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 56, 272–282. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(83\)90252-3](https://doi.org/10.1016/0013-4694(83)90252-3)
- DIELS, H., 1974. *Die Fragmente der Vorsokratiker: griechisch und deutsch*. Weidmann, Berlin.
  - FREEMAN, W.J., QUIROGA, R.Q., 2013. *Electroencephalography, in: Imaging Brain Function With EEG*. Springer New York, New York, NY, pp. 1–19. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4984-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4984-3_1). [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4984-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4984-3_1)
  - HASIAO, S., BENSMAIA, S., 2007. Coding of object shape and texture, in: Kaas, J.H., Gardner, E.P. (Eds.), *Somatosensation, The Senses. A Comprehensive Reference*. Elsevier-Academic Press, pp. 55–66.
  - HEIDEGGER, M. (1927). *Sein und Zeit*, Max Niemeyer Verlag, Tübingen (en castellano: 2012. *Ser y Tiempo*, Trotta, Madrid).
  - HILLYARD, S.A., HINK, R.F., SCHWENT, V.L., PICTON, T.W., 1973. *Electrical Signs of Selective Attention in the Human Brain*. *Science* 182, 177–180. <https://doi.org/10.1126/science.182.4108.177>
  - KOHLER, E., KEYSERS, C., UMILTÀ, M.A., FOGASSI, L., GALLESE, V., RIZZOLATTI, G., 2002. *Hearing Sounds, Understanding Actions: Action Representation in Mirror Neurons*. *Science* 297, 846–848. <https://doi.org/10.1126/science.1070311>
  - LEANDRI, G., SCHENONE, A., LEANDRI, M., 2021. Detection of movement related cortical potentials in freehand drawing on digital tablet. *Journal of Neuroscience Methods* 360, 109231. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2021.109231>
  - LUCK, S.J., 2014. *An introduction to the event-related potential technique*, Second edition. ed. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
  - MATHESON, H.E., KENNETT, Y.N., 2020. *The role of the motor system in generating creative thoughts*. *NeuroImage* 213, 116697. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116697>
  - MUZYKA, I.M., ESTEPHAN, B., 2019. Chapter 35 - Somatosensory evoked potentials, in: Levin, K.H., Chauvel, P. (Eds.), *Handbook of Clinical Neurology, Clinical Neurophysiology: Basis and Technical*

6. El conjunto superior de trazos se relaciona con la tarea 1: dibujo a mano alzada. Muestra los 6 promedios de los sujetos individuales con el gran promedio superpuesto, donde se etiquetan los componentes del ERP. El conjunto inferior muestra las grabaciones promediadas y el gran promedio relacionado con la tarea 2: dibujo en CAD. La amplitud de los componentes tardíos de ERP se reduce mucho en la tarea 2. Los trazos rojos y amarillos son el promedio general de los promedios individuales en gris. La negatividad es hacia arriba

7. Detalles de los grandes promedios relacionados con la tarea 1 (traza roja superior) y la tarea 2 (traza amarilla inferior) que muestran que los componentes tempranos (N20 y P30) no cambian, mientras que los componentes tardíos, desde N50 en adelante, están fuertemente reducidos durante el dibujo en CAD

- Aspects*. Elsevier, pp. 523–540. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64032-1.00035-7>
- NACHEV, P., KENNARD, C., HUSAIN, M., 2008. Functional role of the supplementary and pre-supplementary motor areas. *Natural Reviews Neuroscience* 9, 856–869. <https://doi.org/10.1038/nrn2478>
- NAPIER, J., 1962. *The evolution of the hand*. Scientific American 207, 56–65.
- PALLASMAA, J., 2012. *The eyes of the skin: architecture and the senses*, 3 ed. Wiley, Chichester.
- PENFIELD, W., RASMUSSEN, T., 1950. *The cerebral cortex of man; a clinical study of localization of function*. Macmillan, New York.
- POLDRACK, R.A., 2012. The future of fMRI in cognitive neuroscience. *NeuroImage* 62, 1216–1220. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.08.007>
- RICHARDS, J., 2013. Freehand Renaissance: concept sketching for a digital age. *Landscape Research Record* 1, 11–16.
- RIZZOLATTI, G., KALASKA, J.F., 2013. Voluntary movement: the parietal and premotor cortex, in: Kandel, E.R., Schwartz, J.H., Jessell, T.M., Siegelbaum, S.A., Hudspeth, A.J. (Eds.), *Principles of Neural Science*. McGraw Hill, New York, pp. 865–893.
- SCHEER, D.R., 2014. *The death of drawing: architecture in the age of simulation*. Routledge, London ; New York.

6. The upper set of traces relates to task 1: freehand drawing. It shows the 6 averages of the single subjects with superimposed the grand average, where the ERP components are labelled. The lower set shows the averaged recordings and grand average related to task 2 with CAD drawing. Amplitude of ERPs late components are much reduced in task 2. The red and yellow traces are the grand-average of the greyed single averages. Negativity is upwards

7. Details of the grand averages related to task 1 (upper red trace) and task 2 (lower yellow trace) showing that the early components (N20 and P30) are unchanged, whilst the late components, from N50 onwards are strongly reduced during CAD drawing

- NeuroImage* 213, 116697. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116697>
- MUZYKA, I.M., ESTEPHAN, B., 2019. Chapter 35 - Somatosensory evoked potentials, in: Levin, K.H., Chauvel, P. (Eds.), *Handbook of Clinical Neurology, Clinical Neurophysiology: Basis and Technical Aspects*. Elsevier, pp. 523–540. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64032-1.00035-7>
- NACHEV, P., KENNARD, C., HUSAIN, M., 2008. Functional role of the supplementary and pre-supplementary motor areas. *Natural Reviews Neuroscience* 9, 856–869. <https://doi.org/10.1038/nrn2478>
- NAPIER, J., 1962. *The evolution of the hand*. Scientific American 207, 56–65.
- PALLASMAA, J., 2012. *The eyes of the skin: architecture and the senses*, 3 ed. Wiley, Chichester.
- PENFIELD, W., RASMUSSEN, T., 1950. *The cerebral cortex of man; a clinical study of localization of function*. Macmillan, New York.
- POLDRACK, R.A., 2012. The future of fMRI in cognitive neuroscience. *NeuroImage* 62, 1216–1220. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.08.007>
- RICHARDS, J., 2013. Freehand Renaissance: concept sketching for a digital age. *Landscape Research Record* 1, 11–16.
- RIZZOLATTI, G., KALASKA, J.F., 2013. Voluntary movement: the parietal and premotor cortex, in: Kandel, E.R., Schwartz, J.H., Jessell, T.M., Siegelbaum, S.A., Hudspeth, A.J. (Eds.), *Principles of Neural Science*. McGraw Hill, New York, pp. 865–893.
- SCHEER, D.R., 2014. *The death of drawing: architecture in the age of simulation*. Routledge, London; New York.