

# Mapping the Use of Neurotechnology in Education from an Ethical Perspective

Mapeo sobre el uso de la Neurotecnología en educación desde una perspectiva ética



**Dra. Inmaculada García-Martínez**

Profesora Ayudante Doctora. Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Granada. España



**Dra. Norma Torres-Hernández**

Profesora Sustituta interina. Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Jaén. España



**Dña. Irene Espinosa-Fernández**

Doctoranda. Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Granada. España



**Dña. Lara Checa-Domene**

Doctoranda. Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Granada. España

**Received:** 2023/04/27; **Revised:** 2023/06/20; **Accepted:** 2023/08/10; **Preprint:** 2023/08/26; **Published:** 2023/09/01

## ABSTRACT

Neurotechnology has a long tradition in the clinical field. However, it is increasingly present in the field of education. This review aims to provide an overview of research based on educational neurotechnology that considers the ethical component in its design and implementation. For this purpose, the PRISMA guidelines for systematic reviews and meta-analyses in the databases Web of Science, Scopus, ERIC and Science Direct were followed. After the double review process with the inclusion and exclusion criteria considered, the review sample was set at 12 articles. The main findings found support the effectiveness of using neurotechnology in the field of education, especially for students with special educational needs. It also shows its usefulness in the acquisition of instrumental learning and for obtaining improvements in different areas of development such as attention, memory and motivation. However, in addition to their implicit benefits, the inclusion of educational neurotechnology implies a number of challenges for both teachers and educational institutions, related to training, ethics and the administrative and economic management of these resources and tools. Similarly, despite the existence of different theoretical studies, there is a call for more empirical studies on this topic.

## RESUMEN

La neurotecnología posee una gran tradición desde el ámbito clínico. Sin embargo, cada vez está más presente en el campo de la educación. Este trabajo de revisión trata de ofrecer una panorámica sobre las investigaciones basadas en neurotecnología educativa que consideren el componente ético en su diseño e implementación. Para ello, se siguieron las directrices PRISMA para la realización de revisiones sistemáticas y metaanálisis en las bases de datos Web of Science, Scopus, ERIC y Science Direct. Tras el proceso de doble revisión con los criterios de inclusión y exclusión considerados, la muestra de la revisión quedó fijada en 12 artículos. Los principales hallazgos encontrados reivindican la efectividad de utilizar la neurotecnología en el campo de la educación, especialmente para el alumnado con necesidades educativas especiales. Asimismo, muestra su utilidad para la adquisición de aprendizajes instrumentales y obtener mejoras en diferentes ámbitos de desarrollo como la atención, la memoria o la motivación. Sin embargo, además de los beneficios implícitos, la inclusión de la neurotecnología educativa implica una serie de retos tanto para el profesorado, como para las instituciones educativas, relacionadas con la formación, la ética y la gestión administrativa y económica de estos recursos y herramientas. De igual modo, pese a existir diferentes estudios de naturaleza teórica, se hace un llamado para la realización de más estudios empíricos sobre esta temática.

## KEYWORDS - PALABRAS CLAVES

Educational neurotechnology; ethics; individualized instruction; education; systematic review; teaching and training  
Neurotecnología educativa; ética; enseñanza individualizada; educación; revisión sistemática; enseñanza y formación

## 1. Introduction

### 1.1 An approach to the concept of neurotechnology

Over the past few years, the linking of education with technology is a reality that provides an understanding of how technology may influence students' personal development, enabling meaningful, contextualised and situated learning between the real and virtual world, and fostering the emergence of rich learning experiences (Cox, 2021; Raza and Khan, 2021). This understanding would not be possible without the interdisciplinary work of diverse sciences whose studies help to understand how the brain supports thinking, learning and remembering.

In parallel with the development of technology, cognitive neuroscience and neuropsychology (Ardila et al., 2010; Rodríguez-Garza, 2016), as well as the use of neuroimaging techniques, together with other types of electrophysiological techniques (Roebuk-Spencer et al., 2017) contribute significantly to the knowledge of brain processes that currently allow us to know where in the brain, when and how they are integrated for better learning (Reber, 2013).

According to Bastidas (2021), neurotechnology derives from a set of tools that serve to manipulate, record, measure and obtain information from the brain, in order to analyse and influence the human nervous system. As Fanelli and Ghezzi (2021) point out, this requires the use of artificial devices integrated into neural tissue to mitigate and respond to various needs ranging from transient monitoring of biological parameters to transient neurostimulation.

Neurotechnology linked to the field of education raises the idea of a new approach to learning with a scientific and multidisciplinary approach (Pradas 2017). Thus, educational neurotechnology is the approach to the use of technology in education, in which neural processing is properly interpreted (Pradas, 2016). It is also a new science of learning, which is based on knowledge about the functioning of the human brain and the methodology used in the use of technology in the classroom (Privitera and Du, 2022).

The progress made in neuroscience and cognitive psychology has given rise to a neuroscience of education (Dehaene, 2007) with great potential for optimising teaching strategies and adapting them to the different brain functionings of students at any stage of their studies.

Pradas (2017) considers that if a teacher wants to design a roadmap for the learning support of their students from the perspective of neurotechnology, they should take into account three different approaches to the learning process from the perspective of neuropsychology and technology. Thus, the need for a) a methodological change in which appropriate methodological strategies are applied; b) the application of technology with a pedagogical and not merely instrumental intention, with technological resources and at the appropriate time and adapted to the methodology and; c) using the necessary and sufficient technological advances to personalise student learning.

## 1.2. Possibilities for the use of neurotechnology in education

The inclusion of educational neurotechnology requires an interdisciplinary effort to explore all the possibilities that neuroscience can bring to instructional processes (Johnson et al., 2021). However, its high complexity presents a challenge for researchers and practitioners in its full implementation in the educational setting. So far, the contributions made by neurotechnology to education in different studies allow a better understanding regarding the neuropsychological bases of the use of technology for the attention of visual, auditory and sensory developmental disabilities. They help teachers in the design and introduction of methodological changes in the classroom based on gamification, the inverted classroom or the Flipped Classroom. Likewise, through the knowledge of how the brain works, it offers guidelines for the design and implementation of programmes to improve attention, the development of visual skills, the implementation of motor or balance programmes, for the development of language, memory or creativity (Williamson, 2019). In turn, for education professionals, such as pedagogues, psychologists, teachers, hearing and speech therapists, it provides information on how students can be helped to overcome learning difficulties in matters related to language, attention or social skills.

In short, neurotechnology seeks to redefine the existing educational and technological tradition in terms of monitoring and intervention in clinical and non-clinical settings such as education, with great promise for improving mental health, well-being and productivity.

## 1.3. Ethical issues in educational neurotechnology.

Recent advances in neurotechnology and artificial intelligence are allowing greater and faster access to the information accumulated in people's brains, thus giving machines the ability to read, process, interpret and manipulate our mental impulses, and may even modify how we think of ourselves as humans.

Neurotechnological applications, if misused or misapplied, can create unprecedented forms of intrusion into people's private sphere, cause physical or psychological harm or unduly influence their behaviour (Ienca and Adorno, 2017). Even if Williamson (2019), raises the existence of some scientific scepticism about the technology and concerns around the privacy and ethics of brain data, there is now clear concern that the low ecological validity of standard cognitive neuroscience studies (Matusz et al., 2019; van Atteveldt et al., 2018) are increasingly becoming common in educational settings.

Yuste (2019) considers that although neurotechnology is studied with an altruistic and humanistic vocation, the technologies may well be used for the opposite purposes, which raises ethical and social issues. Especially when neuroscience, neurotechnology and artificial intelligence are brought together. As Bastida (2021) points out, the aim is to protect against the abuses that can occur with the use of new neurotechnology and artificial intelligence techniques.

In this regard, the Recommendation on Responsible Innovation in Neurotechnology (OECD, 2022) is the first international standard in the field of neurotechnology that seeks to guide government policies and innovators in this field, anticipating and defining the ethical, legal and social challenges raised by this new approach. To this end, it includes nine principles focused on: promoting responsible innovation, prioritising safe assessment, promoting inclusion, fostering scientific collaboration, promoting social deliberation,

empowering the capacity of oversight and advisory bodies, safeguarding personal brain data, promoting a culture of governance and trust in the public and private sectors, and how to anticipate and monitor the improper or intentional use of information from neurotechnology-supported studies and practices.

In turn, Ienca and Adorno (2017), concerned about the ethical problems that arise from the union between neurotechnology, neuroscience and artificial intelligence. They suggest that a good way to address this issue is through neuro-rights, which protect citizens in general and therefore students, in aspects related to mental privacy and consent, the right to identity and decision-making, the enhancement of cognitive activities, and the absence of biases.

Tubig and McCisker (2020) raise two central questions around which ethical issues revolve in research on new neurotechnologies. On the one hand, ethical reflexive activity as a transformative and respectful mechanism for vulnerable people to articulate, analyse and evaluate the assumptions and values underlying individual and institutional ethical actions and projects. On the other hand, they start from what they refer to as burdens of trust defined as vulnerabilities that can be assumed by the researcher when placing trust in others in the face of the many individual and social risks in this type of research.

van Atteveldt et al., (2019), propose a framework called Responsible Research and Innovation, which originates from the intersection between technology assessment, ethics and science policy, as a relevant systematic approach to engage parents in educational practice. Using neurofeedback to alleviate ethical concerns and the appropriateness of innovations brought by research on mind, brain and education to adequately impact neurotechnology research.

Ethics in education as Aguiton (2015) points out could become an instrument of governance that goes beyond institutionalisation and proceduralisation. It needs to be made truly operational and more ethically sensitive in order to reduce concerns on these issues both among researchers and among those who participate before, during and after the research.

Taking the above into account, we can see how neurotechnology is in line with the teaching and learning processes of today and the future in the short, medium and long term. Despite being an emerging topic in the field of education, where there are already some literature reviews (Privitera and Du, 2022; Williamson, 2019). These have tried to deepen its approach in the educational field, trying to analyse its potential, benefits and applicability in the reality of the classroom, there are still questions to be resolved, such as the collection of real experiences in educational institutions or the ethical challenges that accompany its integration in the teaching and learning processes. Therefore, the main objective of this review is to provide an overview of research on the use of neurotechnology for teaching purposes from an ethical perspective. More specifically, the aim is to: a) Identify interventions based on neurotechnology developed at different educational stages; b) Examine the topics of research involving neurotechnology; c) Examine the ethical risks that the use of educational neurotechnology has for students; and d) Find out the benefits and drawbacks of neurotechnology for student learning.

Accordingly, the research questions proposed are the following:

- Q1: Which neurotechnology-based interventions have been developed in the different educational stages?
- Q2: What are the topics of the neurotechnology-based interventions carried out?
- Q3: What ethical risks does the use of educational neurotechnology have for students?
- Q4: What are the benefits and drawbacks of neurotechnology for student learning?

## 2. Method

The literature review conducted followed the recommendations promoted by the PRISMA statement developed by Page et al. (2021). The PRISMA statement is to guide authors in the preparation of protocols, to plan meta-analyses and systematic reviews, which are able to summarise the totality of data from studies on the possible effects of interventions, through a set of items for inclusion in the protocol.

### 2.1. Search strategy

For the search of articles and publications it was decided to consult the SCOPUS, WOS, ERIC and SCIENCE DIRECT databases, as these are the main databases where most of the relevant studies in the area of education are located. The date on which the search for the different articles was carried out was 24-11-2022.

Table 1 shows the search equations used in both databases, as well as the number of references obtained in each one. For the search for information, the results obtained were filtered by the type of document "journal article", as the aim was to make the research more scientific by selecting a peer-reviewed document. Given the emergence of the topic, it was decided not to restrict the search to any time interval.

**Table 1**

Databases, search strategy and references

Databases	Search strategies	Items
SCOPUS	(TITLE-ABS-KEY ( neuropsychology ) OR TITLE-ABS-KEY ( neurology ) OR TITLE-ABS-KEY ( neurotechnology ) AND TITLE-ABS-KEY ( education ) OR TITLE-ABS-KEY ( ethics ) OR TITLE-ABS-KEY ( ethical AND instruction ) AND TITLE-ABS-KEY ( educational AND stage ) AND DOCTYPE ( ar ) AND SUBJAREA ( psyc OR soci ) )	18
WOS	(TS= ("educa" OR "instruction" OR "intervention") AND TS= (("neuropsychology" OR "neurotechnology" OR "neurology" ) AND TS= ("ETHICS")))	95
ERIC	Neurotechnology AND Education AND ethic	3
SCIENCE DIRECT	Neurotechnology AND Education AND ethic	5

## 2.2. Inclusion and exclusion criteria

For the search process, the following inclusion criteria were followed: a) articles, b) written in English or Spanish, c) belonging to the field of education, d) focused on neurotechnology, e) ethical considerations, and f) the participants in the sample must be students at any stage of education.

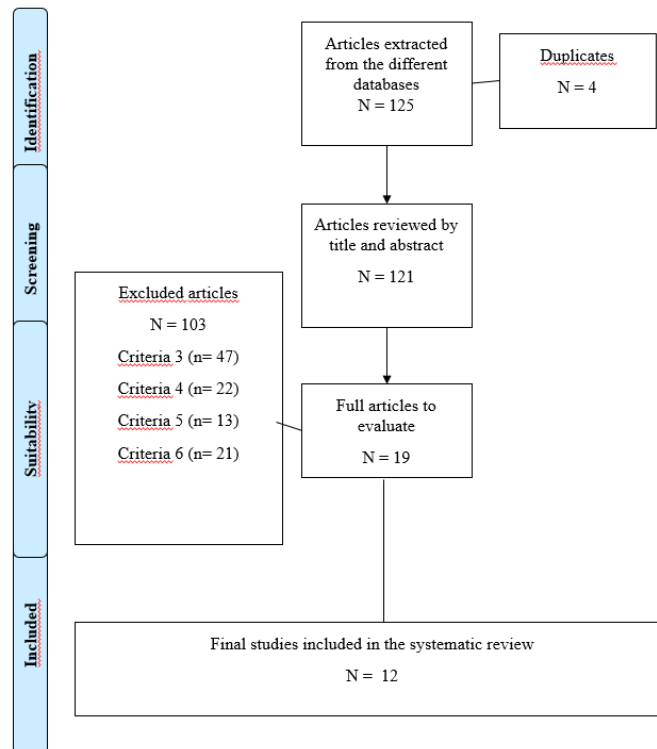
On the other hand, the exclusion criteria that were followed were: a) articles in which participants were other than students, b) subject matter other than educational neurotechnology, c) general themes, d) did not address ethical issues, and e) were not contextualised in the teaching and learning processes.

## 2.3. Selection process

After entering the descriptors specified above, a total of 125 references were obtained (figure 1), with 4 of them being discarded as they were duplicates. The manuscript review process was structured in a double phase. The first phase involved reading the title and abstract, where the manuscripts were screened according to compliance with the previously defined inclusion and exclusion criteria. Secondly, a detailed and comprehensive reading of the full manuscripts included in the first phase was carried out, with the intention of selecting the research sample. Specifically, in the first phase, 103 articles were discarded, the reasons for which are specified in figure 1. In the second phase, 19 manuscripts were read in their

entirety and, after applying the inclusion and exclusion criteria, the sample was reduced to 12.

**Figure 1**  
Flowchart



### 3. Results

#### 3.1 Characterisation of the articles included

The review process conducted yielded 12 articles that met the determined inclusion and exclusion criteria. Table 2 below lists the main characteristic features of each of the included studies. Description of the items included

The increasing emergence of neuro-technological tools nowadays means a generalised advance in the framework of action in all contexts of everyday life, as in the case of education. Privitera and Du (2022) generated an action design with innovation tools, which concluded that neurotechnology applied to education is a promising resource that enhances the attention, commitment and collaborative dynamics of students.

This involves the introduction of a new work dynamic that requires training. In this vein, Bergaliev and Mazurov (2020) conducted an implementation framework for training and introducing primary school pupils to the use and mastery of new types of high-tech products as a feasibility project for the acceptance of such tools in regulations and legislation in the Russian context. The emergence of such novel materials requires impact assessment and considerations on the part of the educational community. Accordingly, Van Atteveldt et al.

(2019) shed light on this issue with a qualitative case study design collecting the impressions of families, teachers and researchers on the investigation of the dimensions of the RRI framework, considering the school as an agent anticipating possible impacts of social changes and innovations.

Neurotechnology proves to be a useful tool within education, both for improvement and support, as in the case of people undergoing neurorehabilitation, being a viable resource in the modulation of learning and behaviour of subjects with neurological injuries, improving comprehensive learning and the process of "non-recovery" (Putrino et al. 2022); or on the other hand, in the context of SEN, Pease et al. (2021) developed a protocol with neurotechnological tools for the improvement of visual impairments, expecting positive results in the performance of students with visual impairment and ratifying the need for collaboration at the clinical and educational level for successful implementation.

Wang et al. (2019) built a helmet of electrical signals from neurons to record the students' ability to concentrate and process them in an interactive spaceship interface, in which the greater the concentration, the more progress the ship made and the more positive the preamble to learning motivation and scientific skills. Consistent with this is the evidence collected by Requejo & Ramajo (2022), who advocate the impact of musical practice or the development of musical skills as an element that enhances neuroplasticity, increasing neuronal activity and generating positive effects on the neuropsychological processes and academic skills of children musicians.

Neurotechnological interventions have highlighted the potential of their use in a variety of contexts. Rapson et al. (2022) propose an action protocol in the physiotherapeutic context in RCT (Randomised Controlled Trial) on students with cerebral palsy as a suitable, viable and feasible intervention tool. In particular, Guven et al. (2021) generate a programme dedicated to young people with epilepsy and their families, improving and evaluating knowledge, anticonvulsant self-efficacy, attitude and e-health literacy through a WEEP website. It is not only a framework for action and intervention but also a tool to assist in the improvement of skills. An example of this is the study by Thumbek et al. (2021), who analysed neurotechnological strategies used in PWA (People with aphasia) to assess improvements in reading comprehension and reading activities by means of pre-test and post-test design, registering significant improvements.



**Table 2**

*Characterisation of the articles included*

Author and Year	Aim of the study	Participants	Sample	Design	Results
Martín-Requejo & Santiago-Ramajo (2022)	To assess the impact of music education on children's neuropsychological processes and academic skills.	S	-	Th	Prolonged musical practice leads to greater neuroplasticity, increased neuroal activity in the right superior temporal area, improvements in inhibition. There are also improvements in working memory, perception and neural processing of speech... Being a musician has a positive impact on neuropsychological processes and academic skills.
Pease et al. (2021)	To describe the protocol for a feasibility assessment of the process of exploring the use of neurological tools for the improvement of visual impairment in educational contexts.	S with special educational needs, P	-	Th	The protocol developed is workable and feasible to improve the skills and performance of students with visual impairment. Close collaboration between the clinical and educational areas is necessary for its implementation and success.
Rapson et al. (2022)	To develop a protocol for the feasibility evaluation of an RCT (Randomised Controlled Trial) of a physiotherapeutic intervention.	S with cerebral palsy	40	Quan	The protocol developed is viable and feasible for evaluating physiotherapy intervention in young people with cerebral palsy, determining the appropriateness of the RCT and the acceptability of the intervention.
Thumbek et al. (2021)	To analyse a strategy-based intervention on text-level reading comprehension and reading activities in PWAs.	S with aphasia	24	Quan	The protocol developed expects significant improvements in reading comprehension based on the comparison of primary and secondary data from the pre-test and post-test.

Guven et al. (2021)	Develop an epilepsy education programme to assess the knowledge, self-efficacy, attitude and e-health literacy of young people with epilepsy and their families.	S, P	28	Quan.	Results found that mean scores for knowledge, anti-seizure self-efficacy, attitude and e-health literacy increased significantly after the WEEP. There was also an increase in knowledge, anxiety, self-management and literacy scores among parents in the intervention group.
Putrino et al. (2022)	To evaluate the reduction of motor system impairment in neurorehabilitation in different perspectives.	S	-	Th	It is concluded that neurorehabilitation technology can be used to achieve goals in people with injuries as a tool to modulate learning and behaviour. It implies that the implicit aim is to enhance compensatory learning and not recovery.
Van Atteveldt et al. (2019)	To discover what considerations emerge from the perspective of adolescents, parents and teacher researchers with regard to the dimensions of the RRI framework.	S, P, T	P= 6 T= 8 S= 6	Qual	The study finds that the use of RRI in society anticipates different potential impacts of neuro-technology-based intervention and allows researchers to adapt the intervention according to societal anticipatory perspectives.
Privitera y Du (2022)	Design of an action protocol with the tools of innovation within neurotechnology.	-	-	Th	It concludes that neurotechnology applied to education is promising in view of the identification of neuromarkers in attention, engagement and collaborative dynamics. It also affirms the need to develop resources and tools that enable the appropriate use of neurotechnology.
Wang et al. (2019)	Preparing students for optimal learning, using a headset that measures the electrical signals of neurons in the brain, a	S	-	Quan	The data is intended to be an aid to governments and legislations by supporting scientific decision making, improving technology and quality of resources.

	game of competition represented in rockets to measure students' concentration.				
Pillete et al. (2020)	Design, implementation and evaluation of a Mental Imagination-Based Brain-Computer Interface (MI-BCI), based on learner performance and progress, combining phrases and facial expressions.	S with communication needs or stroke rehabilitators.	104	Quan	Non-autonomous people are found to be predisposed to work in groups with such an interface, being favoured compared to autonomous people. Improvements are recorded in the ability to learn and memorise.
Sorochinski et al. (2022)	Use of neuro-feedback in the learning process of educational video materials. Hypothesis: Students' ability to monitor their attention, contributing to the improvement of information acquisition and concentration.	S	20	Quan	Subjects performed significantly better on the attention scale with neuro-feedback, taking into account the results of the focus group and the control group.
Bergaliev y Mazurov (2020)	Design of implementation framework for the development and mastering of new types of high-tech products (NeuroNet STI) aiming to develop neuro-technologies approved by the Russian Presidential Council for Economy and Innovative Development.	S	-	Th	Using the results of the application of neuro-technologies in the social environment, a linear regression equation was provided that correlated the dependence of students involved in jobs, the amount of funding and the number of events performed to familiarise them with the resources.

Note: S: Students; P: Parents; T: Teachers; Th: Theoretical; Qual: Qualitative; Quan: Quantitative.

0 It can be observed that neurotechnology is a guarantee, in most cases, of positive  
1 results, but it can also become a source of feedback in educational processes. Sorochinski  
2 et al. (2022) presented neuro-feedback within the learning process to enhance the ability to  
3 monitor attention, thus improving the acquisition of information and concentration, obtaining  
4 significantly positive results. On the other hand Pillete et al. (2020) who proposed a Brain-  
5 Computer Interface that, based on mental imagination, reflected through phrases and  
6 combinations of facial expressions feedback in the processes of improving communication,  
7 achieving improvements in the predisposition for group work or in the ability to learn and  
8 memorise.

#### 10 **4. Discussion and conclusions**

11 The aim of this review was to provide an overview of research on the use of  
12 neurotechnology for teaching purposes from an ethical perspective. After an exhaustive  
13 search process in different databases, the review process yielded 12 articles that met the  
14 established parameters. The following is an attempt to answer the four research questions  
15 that motivated this review.

16  
17 *Q1: Which neurotechnology-based interventions have been developed in the different*  
18 *educational stages?*

19 The present research does not provide evidence on different educational stages, except  
20 for two studies located in primary education (Bergaliev and Mazurov, 2020; Wang et al.,  
21 2019). On the contrary, efforts have been concentrated on improving different domains of  
22 developmental and instrumental learning with students with special educational needs  
23 (Guyen et al., 2021; Rapson et al., 2022; Thumbeck et al., 2021), especially those with  
24 sensory or cognitive diversity. These findings imply that the inclusion of neurotechnology  
25 with an educational approach goes in parallel to the educational interventions designed and  
26 implemented by educational institutions, acting as a complement to them (Antonenko, 2019).  
27 In this line, considering that it is a learning-enhancing incentive (Requejo & Ramajo, 2022)  
28 and taking into account the cognitive and developmental theories on educational technology  
29 (Rudolph, 2017), it has a special place in the primary and secondary education stages.  
30 However, if we consider different degrees of affection within the group of special educational  
31 needs, neurotechnology can also be implemented in other educational stages and in non-  
32 formal education modalities. In any case, studies such as the one developed by Demera-  
33 Zambrano et al. (2021) showed the potential that neurotechnology offers for the attention of  
34 the group with special educational needs from the point of view of fifty practising teachers,  
35 as they allow a greater understanding of how their students learn, as well as the wide variety  
36 of rhythms and abilities that they possess.

37  
38 *Q2: What are the topics of the neurotechnology-based interventions carried out?*

39 The studies included in the review are diverse in terms of the topics covered. Thus, we  
40 find research aimed at improving students' reading and writing skills and comprehension  
41 (Thumbeck et al., 2021), communication (Pillete et al., 2022), memory and cognition  
42 (Soroichinski et al., 2022), attention (Wang et al., 2019), motivation and even strengthening  
43 more social aspects such as collaboration (Privitera and Du, 2021). The interdisciplinary  
44 nature that distinguishes this technology means that it does not fit into any specific area of  
45 knowledge. In this way, a comprehensive view where the typical instructional processes  
46 belonging to the different knowledge areas are alternated in a complementary way to  
47 interventions of this type, could be the success in achieving the full inclusion and integral  
48 development of all students.

49

50 *Q3: What ethical risks does the use of educational neurotechnology have for students?*

51 All the research included in the review has pointed out to a greater or lesser extent that  
52 the use of neurotechnology can pose a personal risk for students, as it can undermine their  
53 intimacy, privacy and right to privacy and even run the risk of exclusion. Along these lines,  
54 knowing how a student's brain works, knowing their learning style and ability, using  
55 physiological measures can lead to "labelling" in an already diverse student body, which can  
56 lead to unintentional discriminatory measures. Likewise, neuroethics advocates a holistic  
57 consideration of the person, where not only the objective data provided by the equipment  
58 used for teaching or clinical purposes is taken into account, but also the context in which the  
59 person develops (Shook et al., 2014).

60

61 *Q4: What are the benefits and drawbacks of neurotechnology for student learning?*

62 Despite the scarce empirical evidence found, the use of neurotechnology has a large  
63 number of benefits for students. Firstly, it adheres to the trend of developing individualised  
64 learning processes tailored to the characteristics of the learner (Kuch et al., 2020). In turn,  
65 due to the plasticity of the brain, the way to incorporate neurotechnology in education will  
66 have to pass through its potential for brain stimulation (Williamson, 2019), favouring the  
67 construction of neuronal synapses, especially in those students with functional diversity or  
68 cognitive impairment (Güven et al., 2021; Rapson et al., 2022; Pillete et al., 2022; Thumbeck  
69 et al., 2021; Wang et al., 2019). However, there also remain certain challenges that may  
70 hinder the potential that neurotechnology can offer in the field of education. First of all,  
71 teacher training needs to be highlighted. Despite major advances in the professionalisation  
72 of teachers in terms of digital literacy (Fernández-Batanero et al., 2020), there are still major  
73 training gaps and attitudes that are not very proactive in its implementation. While it is true  
74 that the prevalence of a certain unease or fear of the new or unknown may cause some  
75 reluctance among teachers whose functions have multiplied in recent years, what must take  
76 precedence is the overall well-being of students. Secondly, the high cost of using this  
77 equipment should not be overlooked, and not all educational institutions can afford it. This  
78 issue opens the debate on the need for national and supranational policies to invest in  
79 education, with a view to equipping them with the resources and technologies necessary to  
80 design, develop and implement quality teaching and learning processes that favour equity  
81 for all students, especially the most disadvantaged.

82

83 In any case, the systematic review provides guidance on the state of the art on the  
integration of neurotechnology in the field of education. Unfortunately, this topic is in line

84 with the trend of developments in education. Many of the incorporations that are taking place  
85 in teaching and learning processes and in the reality of the classroom come from other areas  
86 of knowledge. This milestone hinders and/or slows down their full inclusion, especially in the  
87 early stages. While it is true that neurotechnology can become an important ally in the design  
88 of an effective educational response, time and effort are required to train the education  
89 professionals who must lead such initiatives. Furthermore, the lack of empirical evidence,  
90 despite the existence of an important body of theoretical studies, makes it impossible to  
91 extrapolate the real benefits that neurotechnology can offer to different areas of knowledge  
92 taught by educational institutions. In this regard, progress along these lines and contributing  
93 to the emergence of empirical research in different subjects and at different stages could  
94 help to identify keys to success for the development of good educational practices. At the  
95 same time, the results obtained have revealed the enormous potential that neurotechnology  
96 can offer in the field of Special Education, and so the proliferation of studies based on  
97 educational interventions using neurotechnology with different groups with specific  
98 educational support needs could also contribute fully to improvements in this field.

## 99 **5. Funding**

100 This publication is part of the I+D+I project, PID2019-108230RB-I00, funded by MCIN/  
101 AEI/10.13039/501100011033.

# 102 Mapeo sobre el uso de la Neurotecnología en educación 103 desde una perspectiva ética

## 104 1. Introducción

### 105 1.1. Aproximación al concepto de neurotecnología

106 En los últimos años, la vinculación de la educación con la tecnología es una realidad  
107 que permite comprender la manera de cómo ésta puede influir al desarrollo personal del  
108 alumnado, facilitar un aprendizaje significativo, contextualizado y situado entre el mundo  
109 real y virtual, fomentando la aparición de ricas experiencias de aprendizaje (Cox, 2021;  
110 Raza & Khan, 2021). Esta comprensión no sería posible sin el trabajo interdisciplinar de  
111 diversas ciencias que con sus estudios ayudan a comprender la forma sobre cómo el  
112 cerebro ayuda a pensar, aprender y recordar.

113 Con un desarrollo paralelo a la tecnología, la neurociencia cognitiva y la  
114 neuropsicología (Ardila et al., 2010; Rodríguez-Garza, 2016), así como la utilización de  
115 técnicas de imágenes neuronales, junto a otro tipo de técnicas electrofisiológicas (Roebuk-  
116 Spencer et al., 2017) contribuyen de manera importante al conocimiento sobre los procesos  
117 cerebrales que en la actualidad permiten conocer en qué parte del cerebro, cuándo y cómo  
118 se integran para un mejor aprendizaje (Reber, 2013).

119 De acuerdo con Bastidas (2021), la neurotecnología deriva en un conjunto de  
120 herramientas que sirven para manipular, registrar, medir y obtener información del cerebro,  
121 con el fin de analizar e influir sobre el sistema nervioso del ser humano. Para ello, como  
122 señalan Fanelli y Ghezzi (2021) se requiere del uso de dispositivos artificiales integrados  
123 en el tejido neural para mitigar y dar respuesta a diversas necesidades que van desde la  
124 monitorización transitoria de parámetros biológicos hasta la neuroestimulación transitoria.

125 La neurotecnología vinculada al ámbito educativo, plantea la idea de un nuevo enfoque  
126 con el que se quiere abordar el aprendizaje con un enfoque científico y multidisciplinar  
127 (Pradas 2017). De esta manera, la neurotecnología educativa es el enfoque del uso de la  
128 tecnología en el ámbito educativo, en el que se interpreta adecuadamente el procesamiento  
129 neuronal (Pradas, 2016). Asimismo, se trata de una nueva ciencia del aprendizaje, cuya  
130 base se tiene en el conocimiento sobre el funcionamiento del cerebro humano y la  
131 metodología utilizada en el empleo de la tecnología en el aula (Privitera & Du, 2022).

132 Los progresos originados por las neurociencias y la psicología cognitiva han originado  
133 una neurociencia de la educación (Dehaene, 2007) con altas posibilidades de optimizar  
134 estrategias de enseñanza y adaptarlas a los diferentes funcionamientos cerebrales del  
135 alumnado en cualquier etapa de sus estudios.

136 Pradas (2017) considera que, si un docente quiere diseñar una hoja de ruta para ayudar  
137 al aprendizaje de su alumnado desde la perspectiva de la neurotecnología, deberá tener en  
138 cuenta tres enfoques diferentes: sobre el proceso de aprendizaje, desde la perspectiva de  
139 la neuropsicología y de la tecnología. De esta manera, se evidencia la necesidad de a) un  
140 cambio metodológico en el que se apliquen adecuadas estrategias metodológicas; b) la  
141 aplicación de la tecnología con una intención pedagógica y no meramente instrumental, con  
142 recursos tecnológicos y en el momento pertinente y adaptado a la metodología y; c) utilizar

143 los avances tecnológicos necesarios y suficientes para personalizar el aprendizaje del  
144 alumnado.

145

## 146 1.2. Posibilidades de uso de la neurotecnología en Educación.

147 La inclusión de la neurotecnología educativa exige de un esfuerzo interdisciplinar para  
148 explorar todas las posibilidades que la neurociencia puede aportar a los procesos  
149 instruccionales (Johnson et al., 2021). Sin embargo, su elevada complejidad supone un reto  
150 para investigadores y profesionales en su completa implementación en el ámbito educativo.  
151 Hasta el momento, los aportes realizados de la neurotecnología a la educación en diferentes  
152 estudios, permiten comprender mejor acerca de las bases neuropsicológicas del uso de la  
153 tecnología para la atención a discapacidades visuales, auditivas y de desarrollo sensorial.  
154 Ayudan al profesorado en el diseño e introducción de cambios metodológicos en el aula  
155 basados en la gamificación, el aula invertida o el *Flipped Classroom*. Igualmente, mediante  
156 el conocimiento que se tiene del funcionamiento del cerebro, ofrece pautas para el diseño  
157 e implementación de programas para la mejora de la atención, el desarrollo de habilidades  
158 visuales, la puesta en práctica de programas de motricidad o equilibrio, para el desarrollo  
159 del lenguaje, la memoria o la creatividad (Williamson, 2019). A su vez, a los profesionales  
160 de la educación, tales como pedagogos, psicólogos, profesorado, terapeutas de la audición  
161 y lenguaje les aporta el cómo se puede ayudar al alumnado a superar dificultades del  
162 aprendizaje en cuestiones relacionadas con el lenguaje, la atención o el área social.

163 En definitiva, la neurotecnología busca una redefinición de lo existente en el campo  
164 educativo y la tradición tecnológica, en términos de seguimiento e intervención en entornos  
165 clínicos y entornos no clínicos como los educativos, con grandes promesas para mejorar la  
166 salud mental, el bienestar y la productividad.

167

## 168 1.3. Cuestiones éticas en la neurotecnología educativa.

169 Los recientes avances en neurotecnología e inteligencia artificial están permitiendo un  
170 acceso mayor y más rápido a la información acumulada en el cerebro de las personas  
171 otorgándole capacidad a las máquinas de leer nuestros impulsos mentales, procesarlos,  
172 interpretarlos y manipularlos, pudiendo alterar, incluso nuestro concepto de ser humano.

173 Las aplicaciones neurotecnológicas, si se utilizan mal o se aplican de forma inadecuada,  
174 pueden crear formas de intrusión sin precedentes en la esfera privada de las personas,  
175 causar daños físicos o psicológicos o influir indebidamente en su comportamiento (Lenca &  
176 Adorno, 2017). Aun cuando Williamson (2019), plantea la existencia de cierto escepticismo  
177 científico sobre la tecnología y las preocupaciones en torno a la privacidad y la ética de los  
178 datos cerebrales, hoy existe una clara preocupación por la baja validez ecológica de los  
179 estudios estándar de neurociencia cognitiva (Matusz et al., 2019; van Atteveldt et al., 2018)  
180 son cada vez más frecuentes en el ámbito educativo.

181 Yuste (2019) considera que la neurotecnología si bien se estudia con vocación altruista  
182 y humanista, las tecnologías bien pueden usarse con objetivos contrarios, por lo que con  
183 ello se plantean problemas éticos y sociales especialmente cuando se unen la neurociencia,  
184 la neurotecnología y la inteligencia artificial. Con ellos se busca, como señala Bastida (2021),



185 dar protección ante los abusos que se pueden dar con la utilización de las nuevas técnicas  
186 de neurotecnología e inteligencia artificial.

187 En ese sentido en la Recomendación sobre innovación responsable en  
188 neurotecnología (OCDE, 2022), se plantea la primera norma internacional en el ámbito de  
189 la neurotecnología con la que busca orientar políticas de los gobiernos y a los innovadores  
190 en este campo, anticipar y definir los retos éticos, jurídicos y sociales que plantea este  
191 nuevo enfoque. Para ello recoge nueve principios centrados en: la promoción de la  
192 innovación responsable, la priorización de una evaluación segura, la promoción de la  
193 inclusión, el fomento de la colaboración científica, la promoción de la deliberación social, la  
194 habilitación de la capacidad de los órganos de supervisión y asesoramiento, la salvaguarda  
195 de datos personales sobre el cerebro, la promoción de la cultura de la administración y la  
196 confianza en sectores público y privado y la forma de anticipar y supervisar el uso indebido  
197 o intencionado de la información proveniente de estudios y prácticas apoyadas en la  
198 neurotecnología.

199 Por su parte, Lenca y Adorno (2017) preocupados por los problemas éticos que surgen  
200 de la unión entre la neurotecnología, la neurociencia y la inteligencia artificial plantean que  
201 una buena manera de abordar esta cuestión es a través de los neuroderechos, con los que  
202 se protege a la ciudadanía en general y por tanto al alumnado, en aspectos relacionados  
203 con la privacidad mental y el consentimiento, el derecho a la identidad y la toma de  
204 decisiones, del mejoramiento de las actividades cognitivas, y la ausencia de sesgos.

205 Tubig y McCisker (2020) plantean dos cuestiones centrales sobre las cuales giran  
206 aspectos éticos en la investigación de nuevas neurotecnologías. Por un lado, la actividad  
207 reflexiva ética como un mecanismo transformador y de respeto a las personas vulnerables  
208 para articular, analizar y evaluar los supuestos y valores que subyacen en las acciones y  
209 proyectos éticos individuales e institucionales. Por otra parte lo que denominan como  
210 cargas de confianza definidas como vulnerabilidades asimilables por el investigador al  
211 depositar la confianza en otros ante la gran cantidad de riesgos individuales y sociales en  
212 este tipo de investigación.

213 Van Atteveldt et al., (2019), proponen un marco de Investigación e Innovación  
214 Responsables [Responsible Research and Innovation (RRI en inglés)], originado en la  
215 intersección entre la evaluación tecnológica, la ética y la política científica, como un enfoque  
216 sistemático pertinente para involucrar a la práctica educativa a los padres de familia  
217 mediante el neurofeedback para paliar las preocupaciones éticas y la conveniencia de las  
218 innovaciones aportadas por la investigación sobre mente, cerebro y educación para un  
219 impacto adecuado en la investigación sobre neurotecnología.

220 La ética en educación como señala Aguiton (2015) podría convertirse en un instrumento  
221 de gobernanza que va más allá de la institucionalización y procedimentación. Se requiere  
222 hacerla realmente operativa y con más sensibilidad ética para disminuir preocupaciones en  
223 estas cuestiones tanto entre investigadores como entre quienes participan antes, durante y  
224 después en la investigación.

225 Teniendo en cuenta lo anterior, se observa cómo la neurotecnología va en la línea de  
226 los procesos de enseñanza y aprendizaje del hoy y del futuro a corto, medio y largo plazo.  
227 En sintonía, pese a tratarse de un tema emergente en el campo de la educación, donde ya  
228 existen algunas revisiones de la literatura (Privitera & Du, 2022; Williamson, 2019) que han  
229 tratado de profundizar en su aproximación en el campo educativo, tratando de analizar su

230 potencial, beneficios y aplicabilidad en la realidad de las aulas, aún quedan cuestiones por  
231 resolver, tales como la recogida de experiencias reales en las instituciones educativas o los  
232 desafíos éticos que acompañan a su integración en los procesos de enseñanza y  
233 aprendizaje. Por ello, el objetivo principal de esta revisión es realizar una panorámica de  
234 las investigaciones realizadas sobre el uso de la neurotecnología con fines docentes desde  
235 la perspectiva ética. De manera más específica, se pretende: a) Identificar intervenciones  
236 basadas en neurotecnología desarrolladas en diferentes etapas educativas; b) Examinar  
237 las temáticas de las investigaciones que involucren a la neurotecnología; c) Examinar los  
238 riesgos éticos que el uso de la neurotecnología educativa tiene para el alumnado; y d)  
239 Conocer los beneficios e inconvenientes que la neurotecnología para el aprendizaje del  
240 alumnado.

241 En esta línea, las preguntas de investigación que se proponen en consonancia son las  
242 siguientes:

- 243 • ¿Qué intervenciones basadas en neurotecnología se han desarrollado en las  
244 diferentes etapas educativas?
  - 245 • ¿Sobre qué temáticas versan las intervenciones basadas en neurotecnología  
246 realizadas?
  - 247 • ¿Qué riesgos éticos tiene el uso de la neurotecnología educativa tiene para el  
248 alumnado?
  - 249 • ¿Cuáles son los beneficios e inconvenientes que tiene la neurotecnología para el  
250 aprendizaje del alumnado?
- 251

## 252 **2. Metodología**

253 La revisión de la literatura realizada ha seguido las recomendaciones promovidas por  
254 la declaración PRISMA desarrollada por Page et al. (2021).

255 La declaración PRISMA consiste en orientar a los autores en la preparación de  
256 protocolos, para planificar metaanálisis y revisiones sistemáticas, que sean capaces de  
257 resumir el conjunto de los datos de estudios sobre los posibles efectos de las intervenciones,  
258 a través de un conjunto de ítems de inclusión en el protocolo.

259

### 260 **2.1. Estrategia de búsqueda**

261 Para la búsqueda de artículos y publicaciones se decidió consultar en las fuentes de  
262 datos SCOPUS, WOS, ERIC y SCIENCE DIRECT, ya que estas son las principales bases  
263 de datos, donde se concentran la mayoría de los estudios relevantes en el área de  
264 educación. La fecha en la que se llevó a cabo la búsqueda de los diferentes artículos fue el  
265 24 de noviembre de 2022.

266 La tabla 1 recoge las ecuaciones de búsqueda empleadas en ambas bases de datos,  
267 así como el número de referencias obtenido en cada una. Para la búsqueda de información,  
268 los resultados obtenidos se filtraron por el tipo de documento “artículo de revista”, ya que  
269 se pretendía dotar a la investigación de científicidad, seleccionando un documento sometido

270 a evaluación por pares. Dada la emergencia del tópico, se optó por no restringir la búsqueda  
 271 a ningún intervalo temporal.  
 272

**Tabla 1**

*Base de datos, fórmulas de búsqueda y referencias*

Base de datos	Fórmulas de búsqueda	Ítems
SCOPUS	(TITLE-ABS-KEY ( neuropsychology ) OR TITLE-ABS-KEY ( neurology ) OR TITLE-ABS-KEY ( neurotechnology ) AND TITLE-ABS-KEY ( education ) OR TITLE-ABS-KEY ( ethics ) OR TITLE-ABS-KEY ( ethical AND instruction ) AND TITLE-ABS-KEY ( educational AND stage ) AND DOCTYPE ( ar ) AND SUBJAREA ( psyc OR soci ) )	18
WOS	(TS= ("educa" OR "instruction" OR "intervention") AND TS= ("neuropsychology" OR "neurotechnology" OR "neurology" ) AND TS= ("ETHICS"))	95
ERIC	Neurotechnology AND Education AND ethic	3
SCIENCE DIRECT	Neurotechnology AND Education AND ethic	5

273

## 274 2.2. Criterios de inclusión y exclusión

275 Para el proceso de búsqueda se siguieron los siguientes criterios de inclusión: a)  
 276 artículos, b) escritos en inglés o español, c) que perteneciesen al área de educación, d)  
 277 centrados en la neurotecnología, e) matiz ético, y f) los participantes de la muestra deben  
 278 ser estudiantes de cualquier etapa educativa.

279 Por otro lado, los criterios de exclusión que se siguieron fueron: a) artículos en los que  
 280 aparezca otro tipo de participantes que no sean estudiantes, b) temática distinta a la  
 281 neurotecnología educativa, c) artículos teóricos de revisión, d) no abordasen las cuestiones  
 282 éticas y e) que no se contextualizasen en los procesos de enseñanza y aprendizaje.

283

## 284 2.3. Proceso de selección

285 Tras introducir los descriptores especificados anteriormente, se obtuvieron un total de  
 286 125 referencias (figura 1), siendo 4 de ellos desechados al estar duplicados. El proceso de  
 287 revisión de los manuscritos se estructuró en una doble fase. La primera de ellas, atendía a  
 288 la lectura del título y resumen, donde se realizó un cribado de acuerdo al cumplimiento de  
 289 los criterios de inclusión y exclusión previamente definidos. En segundo lugar, se realizó  
 290 una lectura detallada y comprensiva de los manuscritos completos incluidos en la primera

291 fase, con la intención de seleccionar la muestra de la investigación. En concreto, en la  
292 primera fase de desecharon 103 artículos, cuyas razones se especifican en la figura 1. En  
293 la segunda fase, se procedió a la lectura completa de 19 manuscritos que, tras la aplicación  
294 de los criterios de inclusión y exclusión, la muestra se concretó en 12.

### 295 **Figura 1**

296 *Diagrama de flujo*

297

298

299

300

301

302

303

304

305

306

307

308

309

310

311

312

313

314

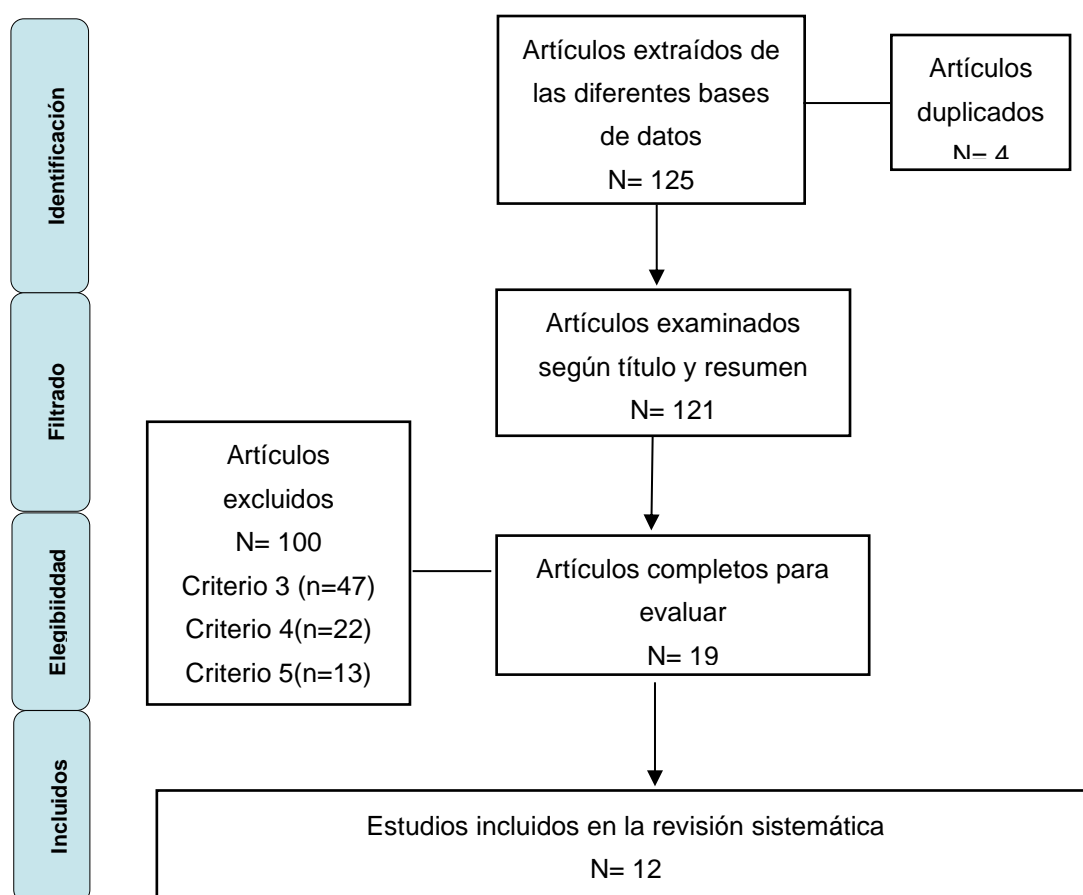
315

316

317

318

319



## 320 **3. Resultados**

### 321 **3.1. Caracterización de los artículos incluidos**

322 El proceso de revisión realizado reportó 12 artículos que cumplían con los criterios de  
323 inclusión y exclusión determinados. La tabla 2 recoge los principales rasgos característicos  
324 de cada uno de los estudios incluidos.

325

### 326 **3.2. Descripción de los artículos incluidos**

327 La creciente aparición de herramientas neuro-tecnológicas en la actualidad supone un  
328 avance generalizado en el marco de actuación de todos los contextos de la cotidianidad  
329 como en el caso de la educación. Privitera y Du (2022) generaron un diseño de actuación

330 con herramientas de innovación concluyendo que la neurotecnología aplicada en educación  
331 es un recurso prometedor potenciando la atención, el compromiso y la dinámica de  
332 colaboración del alumnado.

333

334 Esto supone la introducción en una dinámica nueva de trabajo que requiere formación.  
335 En esta línea, Bergaliev y Mazurov (2020) realizaron un marco de ejecución para formar e  
336 introducir al alumnado de primaria en el uso y dominio de nuevos tipos de productos de alta  
337 tecnología como proyecto de viabilidad para la aceptación de este tipo de herramientas en  
338 las normativas y legislaciones en el contexto ruso. La aparición de materiales tan novedosos  
339 requiere de la evaluación del impacto y consideraciones por parte de la comunidad  
340 educativa. En esta línea, Van Atteveldt et al. (2019) arrojaron luz a esta cuestión con un  
341 diseño cualitativo de estudio de casos recogiendo las impresiones de familias, docente e  
342 investigadores sobre la investigación de las dimensiones del marco RRI (Reglamento del  
343 Régimen Interno de los centros), considerando la escuela un agente anticipador a posibles  
344 impactos de cambios e innovaciones sociales.

345 La neurotecnología demuestra ser una herramienta útil dentro de la educación, tanto  
346 para la mejora y apoyo, como es el caso de las personas en neurorehabilitación, pudiendo  
347 ser un recurso viable en la modulación del aprendizaje y conducta de sujetos con lesiones  
348 neurológicas mejorando el aprendizaje comprensivo y el proceso de “no recuperación”  
349 (Putrino et al. 2022), o por otro lado en el contexto de las NEAE, Pease et al. (2021)  
350 desarrollaron un protocolo con herramientas neurotecnológicas para la mejora de las  
351 deficiencias visuales esperando resultados positivos en el rendimiento de alumnado con  
352 deficiencia visual y ratificando la necesidad de colaboración a nivel clínico y educativo para  
353 la implementación exitosa.

354 No solo como una herramienta de mejora si no de potenciación y preparación del  
355 aprendizaje, Wang et al. (2019), construyeron un casco de señales eléctricas de neuronas  
356 para registrar la capacidad de concentración del alumnado procesándose en un interfaz  
357 interactivo de naves espaciales, en el que a más concentración más avance de la nave  
358 siendo un preámbulo positivo de motivación al aprendizaje y habilidades científicas. En  
359 consonancia, se sitúan las evidencias recogidas por Requejo & Ramajo (2022), quiénes  
360 abogan por el impacto de la práctica musical o el desarrollo de habilidades musicales como  
361 un elemento potenciador de la neuroplasticidad, aumentando la actividad neuronal y  
362 generando efectos positivos en los procesos neuropsicológicos y las habilidades  
363 académicas de niños y niñas músicos.

364 Las intervenciones neurotecnológicas ponen sobre la balanza las potencialidades de  
365 su uso, en diversos contextos. Rapson et al. (2022) plantean en el contexto fisioterapéutico  
366 un protocolo de actuación en ECA (Ensayo controlado aleatorio) sobre alumnado con  
367 parálisis cerebral siendo una herramienta idónea de intervención, viable y factible. De forma  
368 particular, Guven et al. (2021) generan un programa dedicado a jóvenes con epilepsia y a  
369 sus familias, mejorando y evaluando a partir de una Web WEEP, los conocimientos, auto-  
370 eficiencia anticonvulsiva, actitud y alfabetización en cibersalud. No solo es un marco de  
371 actuación e intervención si no una herramienta de asistencia para la mejora de habilidades.  
372 Ejemplo de ello es el estudio de Thumbek et al. (2021), quiénes analizaron las estrategias

373 neurotecnológicas usadas en PWA (Personas con afasia) para evaluar las mejoras en  
374 comprensión lectora y actividades de lectura mediante diseño pre-test y post-test,  
375 registrando considerables mejoras significativas.

376 Se puede observar que la neurotecnología es garantía, en la mayoría de ocasiones, de  
377 resultados positivos, pero además puede llegar a ser una propia fuente de feedback en  
378 procesos educativos. Sorochinski et al. (2022) presentaron el neuro-feedback dentro del  
379 proceso de aprendizaje para potenciar la capacidad de vigilar la atención mejorando así la  
380 adquisición de la información y la concentración, obteniendo resultados significativamente  
381 positivos, o por otra parte Pillete et al. (2020) que propusieron un Interfaz Cerebro-  
382 Ordenador que con bases en la imaginación mental, reflejaban mediante frases y  
383 combinaciones de expresiones faciales un feedback en los procesos de mejora de la  
384 comunicación consiguiendo mejoras en la predisposición para el trabajo en grupo o en la  
385 capacidad de aprender y memorizar.

386 **Tabla 2**

387 *Caracterización de los artículos incluidos*

Autor y año	Objetivo del estudio	Participantes	Muestra	Diseño	Resultados
Martín-Requejo & Santiago-Ramajo (2022)	Evaluar el impacto de la educación musical en procesos neuropsicológicos y en habilidades académicas de los niños.	E	-	T	La práctica musical prolongada da lugar a una mayor neuroplasticidad, aumento de la actividad neuronal en el temporal superior derecho, mejoras en inhibición. También se registran mejoras en la memoria de trabajo, en la percepción y procesamiento neural del habla... El ser músico posee un impacto positivo en los procesos neuropsicológicas y en las habilidades académicas.
Pease et al. (2021)	Describir el protocolo para una evaluación de la viabilidad del proceso de exploración del uso de herramientas neurológicas para la mejora de las deficiencias visuales en contextos educativos.	E con NEAE, P	-	T	El protocolo desarrollado es viable y factible para mejorar las habilidades y el rendimiento de alumnado con discapacidad visual. Es necesaria una colaboración estrecha entre el área clínica y educativa para su implementación y éxito.
Rapson et al. (2022)	Elaborar un protocolo de evaluación de factibilidad de un ECA (Ensayo controlado aleatorio) en una intervención fisioterapéutica.	E con parálisis cerebral	40	Cuan	El protocolo desarrollado es viable y factible para evaluar la intervención fisioterapéutica en jóvenes con parálisis cerebral, determinando la idoneidad del ECA y la aceptación de la intervención.
Thumbek et al. (2021)	Analizar una intervención basada en estrategias sobre la comprensión sobre la comprensión lectora a nivel de texto y sobre las actividades de lectura en las PWA.	E con afasia	24	Cuan	El protocolo desarrollado espera mejoras significativas en la comprensión lectora partiendo de la comparación de los datos primarios y secundarios del pre test y post test.

Guven et al. (2021)	Desarrollar un programa de educación sobre la epilepsia para evaluar los conocimientos, la autoeficiencia, la actitud y la alfabetización en salud electrónica de jóvenes con epilepsia y sus familias.	E, P	28	Cuan.	Los resultados determinaron que las puntuaciones medias de conocimientos, autoeficiencia anticonvulsiva, actitud y alfabetización en ciber salud habían aumentado significativamente tras el WEEP. Además de un aumento en las puntuaciones de conocimientos, ansiedad, autogestión y alfabetización entre los padres del grupo de intervención.
Putrino et al. (2022)	Evaluar la reducción del deterioro del sistema motor en la neurorehabilitación en distintas perspectivas (neuro-ingeniería...)	E	-	T	Se concluye que la tecnología en neurorehabilitación puede usarse para alcanzar objetivos en personas con lesiones siendo herramienta para modular aprendizaje y conducta. Implica que el objetivo implícitamente es mejorar el aprendizaje compensativo y no la recuperación.
Van Atteveldt et al. (2019)	Descubrir qué consideraciones surgen desde la perspectiva de los adolescentes, padres y profesores investigadores con respecto a las dimensiones del marco de la RRI.	E, P, D	P= 6 D= 8 E= 6	Cual	El estudio descubre que el uso de RRI la sociedad se anticipa a los diferentes impactos potenciales de la intervención basada en neuro-tecnología y permite a los investigadores adaptar la intervención de acuerdo con las perspectivas de anticipación sociales.
Privitera y Du (2022)	Diseño de protocolo de actuación con las herramientas de innovación dentro de la neurotecnología.	-	-	T	Se concluye que la neurotecnología aplicada a la educación es prometedora teniendo en cuenta la identificación de neuromarcadores en la atención, el compromiso y la dinámica de colaboración. Afirma también la necesidad de desarrollar recursos y herramientas que permitan un uso adecuado de la neurotecnología.
Wang et al. (2019)	Preparación del alumnado para un aprendizaje óptimo, mediante un casco que mide las señales eléctricas de las neuronas	E	-	Cuan	Los datos pretenden ser una ayuda para gobiernos y legislaciones pretendiendo ser un apoyo para la toma de



	del cerebro, un juego de competición representadas en cohetes medir la concentración del alumnado.				decisiones científicas, mejorando la tecnología y calidad de los recursos.
Pillete et al. (2020)	Diseño, implementación y evaluación de una Interfaz Cerebro-Ordenador basada en la Imaginación Mental, (MI-BCI), en función del rendimiento y el progreso del alumnado, combinan frases y expresiones faciales.	E con necesidades comunicativas o rehabilitantes de ictus.	104	Cuan	Se descubre que las personas no autónomas están predispuestas a trabajar en grupo con dicha interfaz, siendo favorecidas en comparación con personas autónomas. Se registran mejoras en la capacidad de aprender y memorizar.
Sorochinski et al. (2022)	Uso del neuro feedback en el proceso de aprendizaje de los materiales educativos en vídeo. Teniendo como hipótesis: Capacidad del alumnado para vigilar su atención contribuyendo a la mejora de la adquisición de información y concentración.	E	20	Cuan	Los sujetos obtuvieron resultados significativamente mejores en la escala de atención con el neuro feedback, teniendo en cuenta los resultados de grupo focal y grupo de control.
Bergaliev y Mazurov (2020)	Diseño de marco de ejecución para el desarrollo y dominio de nuevos tipos de productos de alta tecnología (NeuroNet STI) pretendiendo desarrollar neuro-tecnologías aprobadas por el Consejo Presidencial de Economía y Desarrollo Innovador de Rusia.	E	-	T	Mediante los resultados de la aplicación de neuro-tecnologías en el entorno social, se aportó una ecuación de regresión lineal que correlacionaba la dependencia del alumnado implicado en trabajos, la cantidad de fondos y el número de actos realiza para familiarizarse con los recursos.

Nota: E: estudiantes; P: padres; D: docentes; T: Teórico; Cual: cualitativo; Cuan: Cuantitativo.

389 **4. Discusión y conclusiones**

390 La presente revisión tenía el objetivo de realizar una panorámica de las investigaciones  
391 realizadas sobre el uso de la neurotecnología con fines docentes desde una perspectiva  
392 ética. Tras un arduo proceso de búsqueda en diferentes bases de datos, el proceso de  
393 revisión realizado reportó 12 artículos que se ajustaban a los parámetros establecidos. A  
394 continuación, se trata de dar respuesta las cuatro preguntas de investigación que motivaron  
395 este trabajo de revisión.

396

397 **4.1. ¿Qué intervenciones basadas en neurotecnología se han desarrollado en las**  
398 **diferentes etapas educativas?**

399 La presente investigación no aporta evidencias sobre distintas etapas educativas, salvo  
400 dos estudios situados en educación primaria (Bergaliev & Mazurov, 2020; Wang et al., 2019).  
401 Por el contrario, han aunado esfuerzos en torno a mejorar diferentes ámbitos de desarrollo  
402 y aprendizajes instrumentales con estudiantes con necesidades educativas especiales  
403 (Guyen et al., 2021; Rapson et al., 2022; Thumbeck et al., 2021), especialmente aquellos  
404 con diversidad sensorial o cognitiva. Estos hallazgos implican que la inclusión de la  
405 neurotecnología con un prisma educativo va en paralelo a las intervenciones educativas  
406 diseñadas e implementadas desde las instituciones educativas, actuando como  
407 complemento de las mismas (Antonenko, 2019). En esta línea, considerando que se trata  
408 de un aliciente potenciador de aprendizaje (Requejo & Ramajo, 2022) y atendiendo a las  
409 teorías cognitivas y de desarrollo sobre la tecnología educativa (Rudolph, 2017), tiene  
410 especial cabida en las etapas de educación primaria y secundaria. Sin embargo, si se  
411 considera diferentes grados de afección dentro del colectivo de necesidades educativas  
412 especiales, la neurotecnología puede implementarse también en otros estadios educativos  
413 y en modalidades de la Educación no Formal. En cualquier caso, estudios como el  
414 desarrollado por Demera-Zambrano et al. (2021) mostraron el potencial que la  
415 neurotecnología ofrece para la atención del colectivo con necesidades educativas  
416 especiales desde la mirada de cincuenta docentes en ejercicio, pues permiten un mayor  
417 entendimiento de éstos hacia cómo aprenden sus estudiantes, así como la amplia variedad  
418 de ritmos y capacidades que poseen.

419

420 **4.2. ¿Sobre qué temáticas versan las intervenciones basadas en neurotecnología**  
421 **realizadas?**

422 Los estudios incluidos en la revisión son variados en cuanto a las temáticas  
423 desarrolladas. De esta manera, se encuentran investigaciones orientadas a mejorar las  
424 habilidades lectoescritoras y de comprensión del alumnado (Thumbeck et al., 2021), la  
425 comunicación (Pillate et al., 2022), la memoria y la cognición (Sorochinski et al., 2022), la  
426 atención (Wang et al., 2019), la motivación e incluso, fortalecen aspectos más sociales  
427 como la colaboración (Privitera & Du, 2021). El carácter interdisciplinar que caracteriza esta  
428 tecnología conlleva la no encuadración en ninguna área de conocimiento concreta. De esta

429 manera, una visión cohesionada donde se alternan los procesos instruccionales típicos  
430 pertenecientes a las diferentes áreas de conocimiento de forma complementaria a  
431 intervenciones de este tipo, podría ser el éxito para lograr la plena inclusión y desarrollo  
432 integral de todo el alumnado.

433

434 4.3. ¿Qué riesgos éticos tiene el uso de la neurotecnología educativa para el  
435 alumnado?

436 Todas las investigaciones incluidas en la revisión han señalado en mayor o menor  
437 medida que el uso de la neurotecnología puede suponer un riesgo personal para los  
438 estudiantes, al poder vulnerar su intimidad, privacidad y derecho hacia la intimidad e incluso  
439 correr el riesgo a la exclusión. En esta línea, conocer el funcionamiento del cerebro del  
440 estudiante, conociendo su capacidad y estilo de aprendizaje, utilizando medidas fisiológicas  
441 puede conllevar un “etiquetaje” en un alumnado ya diverso de por sí, que puede  
442 desencadenar en medidas discriminatorias no intencionales. Asimismo, la neuroética aboga  
443 por una consideración holística de la persona, donde no solo se atiende a los datos objetivos  
444 aportados por la aparatología utilizada ya sea con fines docentes o clínicos, considerando  
445 como prioridad la consideración del contexto donde la persona se desenvuelve (Shook et  
446 al., 2014).

447

448 4.4. ¿Cuáles son los beneficios e inconvenientes que tiene la neurotecnología  
449 para el aprendizaje del alumnado?

450 Pese a la escasa evidencia empírica encontrada, el uso de la neurotecnología posee  
451 un elevado número de beneficios en el alumnado. En primer lugar, se adhiere a la tendencia  
452 de desarrollar procesos de aprendizaje individualizados y ajustados a las características del  
453 estudiantado (Kuch et al., 2020). A su vez, debido a la plasticidad del cerebro, la vía para  
454 incorporar la neurotecnología en la educación tendrá que pasar por su potencial para la  
455 estimulación cerebral (Williamson, 2019), propiciando la construcción de sinapsis  
456 neuronales, especialmente en aquellos estudiantes con diversidad funcional o deterioro  
457 cognitivo (Güven et al., 2021; Rapson et al., 2022; Pillete et al., 2022; Thumbeck et al., 2021;  
458 Wang et al., 2019). Sin embargo, también persisten ciertos desafíos que pueden entorpecer  
459 el potencial que la neurotecnología puede ofrecer en el campo de la educación. En primer  
460 lugar, ha de destacarse la formación docente. A pesar de existir grandes avances en torno  
461 a la profesionalización docente en términos de alfabetización digital (Fernández-Batanero  
462 et al., 2020), aún persisten grandes carencias formativas y actitudes poco proactivas para  
463 su implementación. Si bien es cierto que la prevalencia de cierto malestar o miedo hacia lo  
464 novedoso o desconocido puede producir ciertas reticencias en unos docentes cuyas  
465 funciones se han multiplicado en los últimos años, lo que debe primar es el bienestar integral  
466 del estudiantado. En segundo lugar, no debe omitirse el elevado coste que supone el uso  
467 de esta aparatología, por lo que no todas las instituciones educativas pueden permitírselo.  
468 Esta cuestión abre el debate sobre la necesidad de invertir en educación por parte de las  
469 políticas nacionales y supranacionales, con vistas a equipar con los recursos y tecnologías  
470 necesarias para diseñar, desarrollar e implementar procesos de enseñanza y aprendizaje  
471 de calidad que favorezcan la equidad de todo el alumnado, especialmente de aquellos más  
472 vulnerables.

473 En cualquier caso, la revisión sistemática orienta el estado de la cuestión sobre la  
474 integración de la neurotecnología en el campo de la educación. Desafortunadamente, este  
475 tópico está en consonancia con lo tendencia de los avances en educación. Muchas de las  
476 incorporaciones que se suceden en los procesos de enseñanza y aprendizaje y en la  
477 realidad de las aulas provienen de otras áreas de conocimiento. Este hito entorpece y/o  
478 ralentiza su inclusión plena, sobre todo, en los primeros estadios. Si bien es cierto que la  
479 neurotecnología puede convertirse en un importante aliado en el diseño de una respuesta  
480 educativa eficaz, se requiere de tiempo y esfuerzo para capacitar a los profesionales de la  
481 educación que deben liderar tales iniciativas. Asimismo, la falta de evidencia empírica, pese  
482 a existir un importante corpus de estudios de carácter teórico impide extrapolar los  
483 beneficios reales que la neurotecnología puede ofrecer a diferentes áreas de conocimiento  
484 impartidas por las instituciones educativas. En esta línea, avanzar en esta línea y contribuir  
485 a la emergencia de investigaciones empíricas en diferentes materias y en diferentes etapas  
486 podría contribuir a delimitar claves de éxito para el desarrollo de buenas prácticas  
487 educativas. Al mismo tiempo, a partir de los resultados obtenidos se ha encontrado el  
488 enorme potencial que la neurotecnología puede ofrecer para el campo de la Educación  
489 Especial, por lo que la proliferación de estudios basados en intervenciones educativas que  
490 utilicen la neurotecnología con diferentes colectivos con necesidades específicas de apoyo  
491 educativo, podría también contribuir plenamente a mejorar en este campo.

492

## 493 **5. Financiación**

494 Esta publicación forma parte del Proyecto de I+D+i, PID2019-108230RB-I00,  
495 financiado por MCIN/ AEI/10.13039/501100011033.

496

## 497 **Referencias**

- 498 Antonenko, P. D. (2019). Educational neuroscience: Exploring cognitive processes that underlie  
499 learning. *Mind, brain and technology*, 27-46. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-02631-8\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-02631-8_3)
- 500 Ardila, A., Bertolucci, P. H., Braga, L. W., Castro-Caldas, A., Judd, T., Kosmidis, M. H., ... & Rosselli,  
501 M. (2010). Illiteracy: the neuropsychology of cognition without reading. *Archives of clinical*  
502 *neuropsychology*, 25(8), 689-712. <https://doi.org/10.1093/arclin/acq079>
- 503 Aguiton, S. (2015). Mettre en démocratie les technologies émergentes ? Participation et pouvoir à  
504 l'ère de la crise écologique. *Contretemps*, 26, 40-49. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02009585>
- 505 Bastidas, V. (2021) Neurotecnología: interfaz cerebrocomputador y protección de datos cerebrales o  
506 neurodatos en el contexto del tratamiento de datos personales en la unión europea. *Revista*  
507 *iberoamericana de derecho informático*, 101-176.
- 508 Bergaliev, T., & Mazurov, M. (2020). Study of the Effectiveness of State Support in the Development  
509 and Implementation of Neuro-educational Technologies. In *International Conference of Artificial*  
510 *Intelligence, Medical Engineering, Education* (pp. 315-321). Springer, Cham.  
511 [https://doi.org/10.1007/978-3-030-39162-1\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-030-39162-1_29)

512 Cox, A. M. (2021). Exploring the impact of Artificial Intelligence and robots on higher education  
513 through literature-based design fictions. *International Journal of Educational Technology in Higher*  
514 *Education*, 18(1), 1-19. <https://doi.org/10.1186/s41239-020-00237-8>

515 Dehaene, S. (2007). *Les neurones de la lecture*. Odile Jacob.

516 Demera-Zambrano, K. C., LópezVera, L. S., Zambrano-Romero, M. G., Navarrete Solórzano, D. A.,  
517 Quijije Troya, N. S., & Rodríguez Gámez, M. (2021). Educational neurotechnology in attention to  
518 the specific needs of higher basic general education students. *PalArch's Journal of Archaeology of*  
519 *Egypt/Egyptology*, 18(10), 943-957.

520 Fanelli, A., & Ghezzi D. (2021). Transient electronics: new opportunities for implantable  
521 Neurotechnology. *Current Opinion in Biotechnology*, 72,22–28.  
522 <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2021.08.011>

523 Fernández-Batanero, J. M., Montenegro-Rueda, M., Fernández-Cerero, J., & García-Martínez, I.  
524 (2020). Digital competences for teacher professional development. Systematic review. *European*  
525 *Journal of Teacher Education*, 45(4), 513-531. <https://doi.org/10.1080/02619768.2020.1827389>

526 Güven, Ş. T., Dalgiç, A. İ., & Duman, Ö. (2020). Evaluation of the efficiency of the web-based epilepsy  
527 education program (WEEP) for youth with epilepsy and parents: A randomized controlled trial.  
528 *Epilepsy & Behavior*, 111, 107142. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2020.107142>

529 Ienca, M., & Andorno, R. (2017). Towards new human rights in the age of neuroscience and  
530 neurotechnology. *Life Sci Soc Policy* 13, 5. <https://doi.org/10.1186/s40504-017-0050-1>

531 Johnson, Z. A., Sciolino, N. R., Plummer, N. W., Harrison, P. R., Jensen, P., & Robertson, S. D.  
532 (2021). Assessment of mapping the brain, a novel research and neurotechnology based approach  
533 for the modern neuroscience classroom. *Journal of Undergraduate Neuroscience Education*, 19(2),  
534 A226.

535 Kuch, D., Kearnes, M., & Gulson, K. (2020). The promise of precision: datafication in medicine,  
536 agriculture and education. *Policy Studies*, 41(5), 527-546.  
537 <https://doi.org/10.1080/01442872.2020.1724384>

538 Martín-Requejo, K., & Santiago-Ramajo, S. (2022). Últimos avances científicos de los efectos  
539 neuropsicológicos de la educación musical. *Artseduca*, (31), 275-286.  
540 <https://doi.org/10.6035/artseduca.5976>

541 Matusz, P. J., Dikker, S., Huth, A. G., & Perrodin, C. (2019). Are we ready for real-world  
542 neuroscience? *Journal of Cognitive Neuroscience*, 31(3), 327-338.  
543 [https://doi.org/10.1162/jocn\\_e\\_01276](https://doi.org/10.1162/jocn_e_01276)

544 Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE] (2022). *Recommendation*  
545 *of the Council on Responsible Innovation in Neurotechnology*, OECD/LEGAL/0457

546 Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher,  
547 D. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones

548 sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790-799.  
549 <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>

550 Pease, A., Goodenough, T., Sinai, P., Breheny, K., Watanabe, R., & Williams, C. (2021). Improving  
551 outcomes for primary school children at risk of cerebral visual impairments (the CVI project): study  
552 protocol for the process evaluation of a feasibility cluster-randomised controlled trial. *BMJ open*,  
553 11(5), e044856. <http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2020-044856>

554 Pillette, L., Jeunet, C., Mansencal, B., N'kambou, R., N'Kaoua, B., & Lotte, F. (2020). A physical  
555 learning companion for Mental-Imagery BCI User Training. *International Journal of Human-*  
556 *Computer Studies*, 136, 102380. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2019.102380>

557

558 Pradas, S. (2017). La Neurotecnología Educativa. Claves del uso de la tecnología en el proceso de  
559 aprendizaje. *ReiDoCrea*, 6(2), 40-47.

560 Pradas, S. (2016). *Neurotecnología educativa. La tecnología al servicio del alumno y del profesor*.  
561 *Centro Nacional de Innovación e Investigación Educativa*. Ministerio de Educación, Cultura y  
562 Deporte.

563 Privitera, A. J., & Hao, D. (2022). Educational neurotechnology: Where do we go from here? *Trends*  
564 *in Neuroscience and Education*, 19, 100195. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2022.100195>

565 Putrino, D., & Krakauer, J. W. (2022). Neurotechnology's Prospects for Bringing About Meaningful  
566 Reductions in Neurological Impairment. *Neurorehabilitation and Neural Repair*,  
567 15459683221137341. <https://doi.org/10.1177/15459683221137341>

568 Rapson, R., Marsden, J., Latour, J., Ingram, W., Stevens, K. N., Cocking, L., & Carter, B. (2022).  
569 Multicentre, randomised controlled feasibility study to compare a 10-week physiotherapy  
570 programme using an interactive exercise training device to improve walking and balance, to usual  
571 care of children with cerebral palsy aged 4–18 years: the ACCEPT study protocol. *BMJ open*,  
572 12(5), e058916. <http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2021-058916>

573 Raza, S. A., & Khan, K. A. (2021). Knowledge and innovative factors: how cloud computing improves  
574 students' academic performance. *Interactive Technology and Smart Education*, 19(2), 161-183.  
575 <https://doi.org/10.1108/ITSE-04-2020-0047>

576 Reber, P. J. (2013). The neural basis of implicit learning and memory: A review of neuropsychological  
577 and neuroimaging research. *Neuropsychologia*, 51(10), 2026-2042.  
578 <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.06.019>

579 Roebuck-Spencer, T. M., Glen, T., Puente, A. E., Denney, R. L., Ruff, R. M., Hostetter, G., &  
580 Bianchini, K. J. (2017). Cognitive screening tests versus comprehensive neuropsychological test  
581 batteries: a national academy of neuropsychology education paper. *Archives of Clinical*  
582 *Neuropsychology*, 32(4), 491-498. <https://doi.org/10.1093/arclin/acx021>

583 Rodríguez Garza, R. (2016). La construcción de ambientes de aprendizajes desde los principios de  
584 la neurociencia cognitiva. *Revista de educación inclusiva*, 9(2), 245-263.

585 Rudolph, M. (2017). Cognitive theory of multimedia learning. *Journal of Online Higher Education*,  
586 1(2), 1-10.

587 Shook, J. R., Galvagni, L., & Giordano, J. (2014). Cognitive enhancement kept within contexts:  
588 neuroethics and informed public policy. *Frontiers in systems neuroscience*, 8, 228.  
589 <https://doi.org/10.3389/fnsys.2014.00228>

590 Sorochinsky, M., Koryakin, P., & Popov, M. (2022, September). A study of students' attention levels  
591 while watching educational videos with the use of neurofeedback. In *2022 Fourth International*  
592 *Conference Neurotechnologies and Neurointerfaces (CNN)* (pp. 165-167). IEEE.  
593 <http://dx.doi.org/10.1109/CNN56452.2022.9912564>

594 Thumbeck, S. M., Schmid, P., Chesneau, S., & Domahs, F. (2021). Efficacy of a strategy-based  
595 intervention on text-level reading comprehension in persons with aphasia: a study protocol for a  
596 repeated measures study. *BMJ open*, 11(7), e048126. [http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2020-](http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2020-048126)  
597 [048126](http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2020-048126)

598 Tubig, P. & McCusker, D. (2020). Fostering the trustworthiness of researchers: SPECS and the role  
599 of ethical reflexivity in novel neurotechnology research. *Research Ethics*, 7(2), 43–161.  
600 <https://doi.org/10.1177/1747016120952500>

601 van Atteveldt, N., Tijmsa, G., Janssen, T., & Kupper, F. (2019). Responsible research and innovation  
602 as a novel approach to guide educational impact of mind, brain, and education research. *Mind,*  
603 *Brain, and Education*, 13(4), 279-287. <https://doi.org/10.1111/mbe.12213>

604 van Atteveldt, N., van Kesteren, M. T., Braams, B., & Krabben-dam, L. (2018). Neuroimaging of  
605 learning and development: Improving ecological validity. *Frontline Learning Research*, 6(3), 186–  
606 203.

607 Yuste, R. (2019). *Las nuevas neurotecnologías y su impacto en la ciencia, medicina y sociedad*.  
608 Lección Cajal Vicerrectorado de Cultura y Proyección Social. Universidad de Zaragoza.  
609 [https://www.fundacionareces.es/recursos/doc/portal/2019/07/17/revista-fra-num-21-las-nuevas-](https://www.fundacionareces.es/recursos/doc/portal/2019/07/17/revista-fra-num-21-las-nuevas-neurotecnologias-rafael-yuste.pdf)  
610 [neurotecnologias-rafael-yuste.pdf](https://www.fundacionareces.es/recursos/doc/portal/2019/07/17/revista-fra-num-21-las-nuevas-neurotecnologias-rafael-yuste.pdf)

611 Wang, Y., Hong, S., & Tai, C. (2019). *China's efforts to lead the way in AI start in its classrooms*. Wall  
612 Street J.

613 Williamson, B. (2019). Brain data: Scanning, scraping and sculpting the plastic learning brain through  
614 neurotechnology. *Postdigital Science and Education*, 1(1), 65-86. [https://doi.org/10.1007/s42438-](https://doi.org/10.1007/s42438-018-0008-5)  
615 [018-0008-5](https://doi.org/10.1007/s42438-018-0008-5)

616

## 617 **Cómo citar**

618 Torres-Hernández, N., García-Martínez, I., Espinosa-Fernández, I., & Checa-Domene, L. (2023).  
619 Mapping the Use of Neurotechnology in Education from an Ethical Perspective [Mapeo sobre el  
Pixel-Bit. *Revista de Medios y Educación*, 68, 273-304 | 2023 | <https://doi.org/10.12795/pixelbit.100461> PÁGINA | 303

620 uso de la Neurotecnología en educación desde una perspectiva ética]. *Pixel-Bit. Revista de Medios*  
621 *y Educación*, 68, 273-304. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.100461>  
622