

Audio-Based Projects as a Pedagogical Tool for Teaching Analog and Nonlinear Electronics in Engineering

Jean Pierre Gonzales Castro¹ 

Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa, Perú, jgonzalesca@utp.edu.pe

Abstract

The teaching of analog and nonlinear electronics in engineering programs often faces challenges related to the abstract nature of circuit behavior and the limited perceptual feedback provided by traditional laboratory practices. This paper explores the use of project-based learning through audio-centered applications as a pedagogical strategy to enhance conceptual understanding, practical skills, and student engagement. The study was conducted within an undergraduate Mechatronics Engineering course focused on electronic design and integrated two complementary projects: a ten-band multiband VU meter based on analog signal conditioning and visualization, and a set of guitar effects pedals emphasizing nonlinear amplification and frequency response shaping. The projects were implemented following a structured project-based learning framework that included stages of circuit analysis, simulation, prototyping, debugging, and system integration. Learning outcomes were evaluated through project deliverables, technical performance of the implemented circuits, instructor observation, and qualitative analysis of recurrent design errors and solutions. The results indicate that audio-based projects facilitate the assimilation of key concepts in analog and nonlinear electronics, including multistage amplification, clipping and distortion mechanisms, frequency response, biasing techniques, and practical implementation constraints. Immediate auditory and visual feedback allowed students to identify design issues more efficiently and strengthened the connection between theoretical principles and practical implementation. Additionally, higher levels of student autonomy and engagement were observed compared to highly guided traditional laboratory activities. These findings suggest that audio-based project-based learning constitutes an effective approach for teaching analog and nonlinear electronics in undergraduate engineering education.

Keywords: Project-based learning, VU meter, engineering education, analog electronics, nonlinear circuits.

Proyectos basados en audio como herramienta pedagógica para la enseñanza de electrónica analógica y no lineal en ingeniería

Jean Pierre Gonzales Castro¹ 

Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa, Perú, jgonzalesca@utp.edu.pe

Resumen

La enseñanza de la electrónica analógica y no lineal en programas de ingeniería suele enfrentar dificultades asociadas al carácter abstracto del comportamiento de los circuitos y a la limitada retroalimentación perceptual de las prácticas de laboratorio tradicionales. Este trabajo analiza el uso del aprendizaje basado en proyectos con aplicaciones centradas en audio como estrategia pedagógica para fortalecer la comprensión conceptual, el desarrollo de habilidades prácticas y el compromiso estudiantil. El estudio se desarrolló en el marco de un curso de pregrado de Ingeniería Mecatrónica orientado al diseño electrónico e integró dos proyectos complementarios: un vúmetro multibanda de diez bandas basado en el acondicionamiento y la visualización analógica de señales, y un conjunto de pedales de efectos para guitarra enfocados en la amplificación no lineal y el modelado de la respuesta en frecuencia. Los proyectos se implementaron siguiendo un esquema estructurado de aprendizaje basado en proyectos que incluyó etapas de análisis de circuitos, simulación, prototipado, depuración e integración del sistema. Los resultados de aprendizaje se evaluaron a partir de los entregables de los proyectos, el desempeño técnico de los circuitos implementados, la observación docente y el análisis cualitativo de errores de diseño y soluciones recurrentes. Los resultados evidencian que los proyectos basados en audio facilitan la asimilación de conceptos clave de la electrónica analógica y no lineal, como la amplificación multietapa, los mecanismos de recorte y distorsión, la respuesta en frecuencia, las técnicas de polarización y las restricciones prácticas de implementación. Asimismo, la retroalimentación inmediata, tanto auditiva como visual, permitió una identificación más eficiente de errores de diseño y reforzó la relación entre teoría y práctica. En conjunto, los hallazgos sugieren que el uso de proyectos basados en audio constituye un enfoque eficaz para la enseñanza de la electrónica analógica y no lineal en la formación de ingenieros a nivel de pregrado.

Palabras clave-- Aprendizaje basado en proyectos, vúmetro, educación en ingeniería, electrónica analógica, circuitos no lineales.

I. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la electrónica analógica y no lineal en programas de ingeniería de pregrado continúa representando un desafío significativo, particularmente debido al carácter abstracto del comportamiento de los circuitos y a la dificultad de relacionar el análisis teórico con el funcionamiento real de los sistemas electrónicos. Conceptos como la amplificación multietapa, la polarización, la respuesta en frecuencia y los fenómenos de no linealidad suelen ser percibidos por los estudiantes como altamente formales y desconectados de

aplicaciones tangibles, lo que impacta negativamente en la motivación y en la profundidad del aprendizaje. Diversos estudios han señalado que los enfoques tradicionales basados en clases magistrales y laboratorios altamente guiados tienden a limitar la participación activa del estudiante y a producir una comprensión fragmentada de los principios fundamentales de la electrónica analógica [1], [2]. Estos hallazgos han sido reforzados por estudios más recientes que evidencian que el aprendizaje activo mejora significativamente el rendimiento académico y la retención conceptual en cursos de ingeniería, en comparación con enfoques tradicionales centrados en el docente [2], [3].

En este contexto, el aprendizaje basado en proyectos (Project-Based Learning, PBL) se ha consolidado como una estrategia pedagógica eficaz para la enseñanza de la electrónica, al promover la integración de conocimientos teóricos, habilidades prácticas y competencias transversales mediante la resolución de problemas abiertos y contextualizados. Investigaciones en cursos de electrónica analógica reportan que la implementación de PBL mejora significativamente los resultados cognitivos, la interacción en el aula y la capacidad de los estudiantes para resolver problemas prácticos, en comparación con modelos de instrucción directa [1], [4]. De igual forma, revisiones contemporáneas en educación en ingeniería destacan que la integración de metodologías activas, como el aprendizaje basado en proyectos, no solo mejora los resultados cognitivos, sino también el desarrollo de habilidades prácticas y competencias transversales necesarias en la formación profesional [3]. Asimismo, enfoques más amplios de aprendizaje activo —incluyendo PBL, aula invertida y laboratorios apoyados en simulación— han mostrado incrementos consistentes en el rendimiento académico, el desarrollo de habilidades prácticas y el compromiso estudiantil en cursos de electrónica de pregrado [2], [5].

Dentro de las distintas modalidades de PBL, los proyectos centrados en aplicaciones de audio han emergido como una alternativa particularmente efectiva para la enseñanza de la electrónica analógica y no lineal. El uso de sistemas de audio —como amplificadores, pedales de efectos para guitarra y enlaces de transmisión de audio— permite que los fenómenos eléctricos sean percibidos de manera inmediata a través del sonido, facilitando la conexión entre el análisis del circuito y su comportamiento real. Estudios previos destacan que la posibilidad de “escuchar” la respuesta del sistema

convierte conceptos abstractos, como la distorsión, el recorte de señal y la respuesta en frecuencia, en experiencias perceptibles que fortalecen la comprensión conceptual y aumentan la motivación de los estudiantes [6], [7].

En particular, los pedales de efectos para guitarra y los amplificadores de audio han sido ampliamente utilizados como plataformas educativas para introducir y reforzar conceptos de diseño de amplificadores discretos, no linealidad, polarización, diseño multietapa y disposición de componentes en placas de circuito impreso. Algunos estudios reportan que el diseño de pedales de guitarra en cursos de electrónica facilita una comprensión más profunda del comportamiento de los amplificadores y expone a los estudiantes a etapas completas del proceso de diseño, desde el análisis hasta el prototipado [8]. De manera similar, otros estudios muestran que la construcción progresiva de amplificadores de guitarra resulta accesible incluso para cohortes con formación heterogénea, promoviendo un alto nivel de compromiso al vincular el aprendizaje con resultados audibles [9]. Trabajos adicionales han explorado proyectos de audio más complejos, como enlaces inalámbricos ópticos de audio y sistemas analógicos integrados bajo esquemas de competencia, evidenciando mejoras en el pensamiento sistémico y en la motivación estudiantil [6], [10].

Complementariamente, los dispositivos de visualización de señal, como los vúmetros multibanda, ofrecen una herramienta didáctica eficaz para relacionar el análisis espectral, la respuesta en frecuencia y la percepción auditiva. Al permitir una representación visual directa de la energía de la señal en distintas bandas de frecuencia, estos sistemas refuerzan la comprensión de conceptos clave de la electrónica analógica y del acondicionamiento de señales, sirviendo como un puente entre el dominio matemático y la interpretación práctica del comportamiento del sistema.

A pesar de la creciente evidencia que respalda el uso de proyectos de audio en la enseñanza de la electrónica, aún existe una necesidad de documentar experiencias educativas estructuradas que integren múltiples plataformas de audio dentro de un mismo curso, alineadas explícitamente con resultados de aprendizaje en electrónica analógica y no lineal. En particular, son limitados los estudios que analizan de manera conjunta proyectos de visualización de señal y proyectos de procesamiento analógico de audio como parte de una estrategia pedagógica coherente en programas de Ingeniería Mecatrónica, especialmente en contextos latinoamericanos.

En respuesta a este vacío, el presente trabajo presenta un estudio de caso sobre la implementación de dos proyectos basados en audio —un vúmetro multibanda y pedales de efectos para guitarra— como plataformas educativas en un curso de diseño electrónico de pregrado. El objetivo principal es analizar el valor pedagógico de estos proyectos, integrados en un enfoque estructurado de aprendizaje basado en proyectos, para el desarrollo de la comprensión conceptual, las

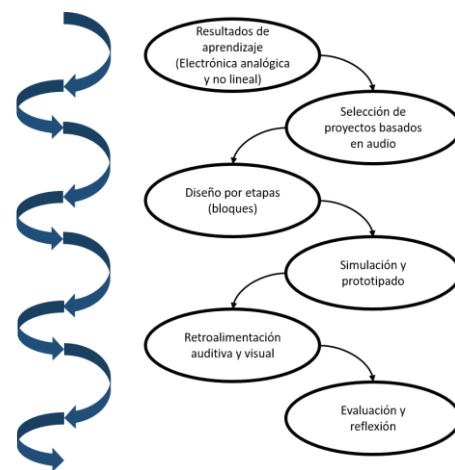
habilidades de diseño y la motivación estudiantil en electrónica analógica y no lineal. El análisis se centra en la experiencia educativa y en los procesos de aprendizaje asociados al desarrollo de sistemas de audio reales, más que en la optimización o innovación específica de las topologías de circuito empleadas. En este sentido, el trabajo enfatiza la alineación curricular y el potencial de replicabilidad de las experiencias propuestas en distintos contextos académicos.

II. METODOLOGÍA

A. Marco educativo y contexto de implementación

La metodología propuesta se diseñó para cursos de pregrado en ingeniería con énfasis en diseño electrónico, típicamente ubicados en etapas intermedias de la formación académica, donde los estudiantes ya cuentan con conocimientos básicos de circuitos eléctricos, dispositivos semiconductores y análisis de señales. El enfoque es aplicable a programas de Ingeniería Mecatrónica, Electrónica, Biomédica u otras disciplinas afines, y resulta igualmente adaptable a contextos institucionales con distintos niveles de infraestructura y recursos, siempre que el curso tenga una orientación práctica e integradora.

El marco pedagógico se basa en el aprendizaje basado en proyectos (Project-Based Learning, PBL), en el cual los estudiantes desarrollan un sistema electrónico funcional como respuesta a un problema abierto, integrando teoría, simulación, diseño, implementación y validación experimental. Este enfoque ha demostrado ser efectivo para mejorar la comprensión conceptual, la motivación y el desarrollo de habilidades prácticas en cursos de electrónica analógica y no lineal [1], [2], [4].



Fuente: elaboración propia

Fig. 1 Esquema general del enfoque metodológico basado en aprendizaje basado en proyectos (PBL) aplicado a la enseñanza de la electrónica analógica y no lineal mediante proyectos de audio. El modelo integra la definición de resultados de aprendizaje, la selección de plataformas de audio, el diseño por etapas funcionales, la simulación y el prototipado, así como la evaluación formativa y la reflexión final del estudiante.

La metodología se enmarca en un estudio de caso de carácter educativo, orientado a la descripción y análisis del diseño pedagógico y de la experiencia de aprendizaje, más que a la evaluación experimental comparativa entre grupos.

Fig. 1 presenta una visión general del enfoque metodológico propuesto, destacando la integración del aprendizaje basado en proyectos con aplicaciones de audio y su alineación con los resultados de aprendizaje en electrónica analógica y no lineal.

B. Diseño pedagógico basado en proyectos de audio

Dentro del marco PBL, se seleccionaron proyectos centrados en aplicaciones de audio debido a su alto potencial didáctico. El diseño metodológico parte de la premisa de que el sonido constituye una forma inmediata y perceptible de retroalimentación, permitiendo que los estudiantes relacionen directamente el comportamiento del circuito con fenómenos audibles y visuales, como la distorsión, la respuesta en frecuencia y la variación de amplitud.

Siguiendo recomendaciones reportadas en la literatura sobre proyectos de audio en educación en ingeniería [6], [8], [9], los proyectos se estructuraron de manera incremental, dividiendo sistemas relativamente complejos en etapas funcionales claramente definidas. Esta descomposición permitió a los estudiantes abordar el diseño de forma progresiva, reduciendo la carga cognitiva y favoreciendo la comprensión de cada bloque antes de su integración en el sistema completo.

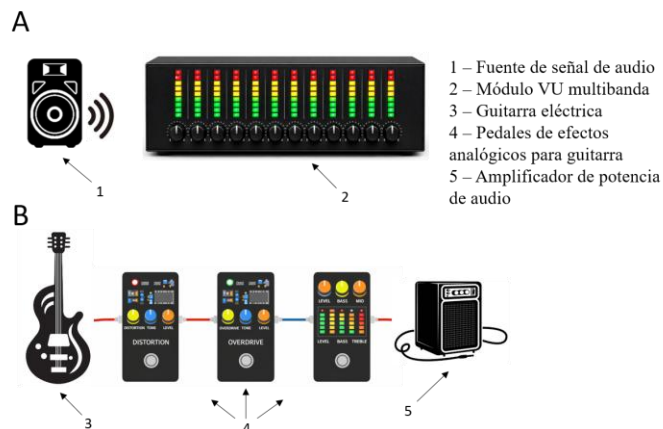
C. Descripción de los proyectos educativos

Se implementaron dos tipos de proyectos complementarios, seleccionados por su capacidad para cubrir un amplio conjunto de conceptos de electrónica analógica y no lineal:

1) **Vúmetro multibanda:** Este proyecto se orientó a la visualización analógica del nivel de señal en distintas bandas de frecuencia. El sistema incluyó etapas de acondicionamiento de señal, filtrado analógico, rectificación y visualización mediante indicadores luminosos. Desde el punto de vista educativo, el vúmetro permitió abordar conceptos como respuesta en frecuencia, ganancia, filtrado pasivo y activo, y relación entre señales temporales y espectrales. La representación visual del contenido espectral reforzó la comprensión del comportamiento de señales de audio complejas y su relación con el diseño del circuito.

2) **Pedales de efectos para guitarra:** Los pedales de efectos se utilizaron como plataforma para el estudio de la amplificación no lineal, el recorte de señal, la polarización de dispositivos activos y el diseño multietapa. Dependiendo del alcance del curso, los proyectos incluyeron efectos de distorsión, overdrive y modelado tonal mediante redes de filtrado. Este tipo de proyecto ha sido ampliamente documentado como una herramienta eficaz para enseñar diseño de amplificadores y no linealidades en electrónica, al

permitir que los estudiantes perciban auditivamente el impacto de sus decisiones de diseño [8], [9].



Fuente: elaboración propia

Fig. 2 Relación entre los proyectos educativos implementados y los principales conceptos de electrónica analógica y no lineal abordados mediante aprendizaje basado en proyectos. (A) Proyecto de vúmetro multibanda, enfocado en filtrado analógico, respuesta en frecuencia y visualización de señales. (B) Proyecto de pedales analógicos para guitarra, orientado al estudio de amplificación multietapa, comportamiento no lineal y recorte de señal.

Ambos proyectos se concibieron no como fines en sí mismos, sino como plataformas educativas alineadas con resultados de aprendizaje previamente definidos en electrónica analógica y diseño de sistemas.

D. Etapas del proceso metodológico

La implementación de los proyectos siguió una secuencia de etapas replicable en distintos contextos académicos:

1) **Definición del problema y revisión de antecedentes:** Los estudiantes definieron el alcance del proyecto, identificaron antecedentes técnicos y analizaron soluciones existentes, promoviendo el desarrollo de habilidades de búsqueda, análisis crítico y contextualización tecnológica.

2) **Análisis y diseño del sistema:** Se desarrollaron diagramas de bloques y se definieron las etapas funcionales del sistema, estableciendo especificaciones técnicas y criterios de diseño coherentes con los objetivos del proyecto.

3) **Simulación y validación preliminar:** Cada etapa fue simulada de manera individual y luego integrada progresivamente, permitiendo detectar errores conceptuales antes de la implementación física.

4) **Implementación y prototipado:** Los estudiantes construyeron prototipos funcionales, integrando las distintas etapas del sistema y enfrentando restricciones reales asociadas a componentes, tolerancias y ruido.

5) **Pruebas y depuración:** Se realizaron pruebas funcionales y ajustes iterativos, utilizando tanto instrumentos de medición como retroalimentación auditiva y visual, reforzando el vínculo entre teoría y práctica.

6) **Presentación y reflexión final:** Los proyectos culminaron con la presentación de resultados y la elaboración

de un informe técnico, fomentando la reflexión sobre el proceso de diseño y los aprendizajes alcanzados.

Esta secuencia metodológica coincide con modelos de PBL reportados en la literatura para cursos de electrónica analógica y sistemas integrados [6], [10], [11].

E. Estrategia de evaluación del aprendizaje

La evaluación se concibió como un proceso continuo y formativo, distribuido a lo largo del desarrollo del proyecto. En lugar de una evaluación basada exclusivamente en exámenes finales, se consideraron múltiples evidencias de aprendizaje, tales como entregables parciales, desempeño funcional del sistema, calidad del diseño electrónico y capacidad de análisis y justificación técnica.

Este enfoque de evaluación progresiva es coherente con estudios que señalan que la evaluación formativa en contextos PBL favorece una comprensión más profunda de los contenidos y una mayor implicación del estudiante en el proceso de aprendizaje [1], [4].

III. RESULTADOS

A. Logro de resultados de aprendizaje

La implementación de proyectos de audio como eje del curso permitió observar una mejora consistente en la capacidad de los estudiantes para integrar conceptos teóricos de electrónica analógica y no lineal en sistemas funcionales, en concordancia con los resultados de aprendizaje definidos para el curso (Fig. 1). En particular, se evidenció un avance significativo en la comprensión de bloques fundamentales como amplificación, filtrado, rectificación y procesamiento no lineal, los cuales suelen presentar dificultades cuando se abordan de manera aislada o puramente teórica.

TABLA I.

Comparación cualitativa entre laboratorios tradicionales guiados y proyectos basados en audio implementados bajo un enfoque de aprendizaje basado en proyectos

Aspecto evaluado	Laboratorios tradicionales guiados	Proyectos basados en audio (PBL)
Tipo de retroalimentación	Predominantemente abstracta y mediada por instrumentos de medición	Inmediata, auditiva y visual
Integración teoría-práctica	Parcial y fragmentada	Alta, integrada a nivel de sistema
Autonomía del estudiante	Limitada, con procedimientos predefinidos	Elevada, con decisiones abiertas de diseño
Comprensión de no linealidades	Difícil de percibir sin análisis formal	Facilitada mediante percepción auditiva
Motivación y compromiso	Moderados	Altos
Transferencia a problemas reales	Limitada	Favorecida por el contexto aplicado

A diferencia de experiencias tradicionales basadas en prácticas de laboratorio guiadas, los estudiantes demostraron

una mayor autonomía en la toma de decisiones de diseño, justificando la selección de topologías, valores de componentes y configuraciones de polarización. Este comportamiento sugiere una apropiación más profunda de los principios de funcionamiento de los circuitos, coherente con lo reportado en estudios previos sobre aprendizaje basado en proyectos en electrónica [1], [4].

Una comparación cualitativa entre los proyectos basados en audio implementados y los laboratorios tradicionales guiados se resume en la tabla I. Esta comparación permite contextualizar las mejoras observadas en la integración teoría-práctica, la autonomía del estudiante y la comprensión de fenómenos no lineales.

B. Integración efectiva de teoría y práctica

Uno de los resultados más relevantes fue la reducción de la brecha entre el análisis teórico y el comportamiento real de los circuitos. Durante las etapas de simulación e implementación, los estudiantes identificaron discrepancias entre los resultados ideales y las mediciones experimentales, lo que generó instancias de análisis crítico sobre efectos no ideales, tolerancias de componentes y limitaciones prácticas del diseño.

En los proyectos de vúmetros multibanda, los estudiantes lograron relacionar de manera explícita la respuesta en frecuencia de los filtros con la activación visual de los indicadores, fortaleciendo la comprensión del dominio espectral y del acondicionamiento analógico de señales. En el caso de los pedales de efectos para guitarra, la percepción auditiva del recorte de señal y la distorsión permitió asociar directamente conceptos matemáticos y eléctricos con resultados perceptuales. La combinación de retroalimentación visual y auditiva ofrecida por ambos proyectos resultó complementaria, facilitando una comprensión más integral del comportamiento de sistemas analógicos, tal como se resume en Fig. 2.

C. Desarrollo de habilidades de diseño y resolución de problemas

El enfoque metodológico promovió el desarrollo de habilidades transversales propias de la práctica ingenieril. A lo largo del proceso, los estudiantes enfrentaron problemas abiertos que no contaban con una única solución correcta, lo que incentivó la exploración de alternativas y la evaluación comparativa de distintas estrategias de diseño.

Se observó una mejora progresiva en la capacidad de depuración de circuitos, tanto a nivel de simulación como en prototipos físicos, siguiendo un proceso iterativo de análisis, prueba y ajuste coherente con el enfoque metodológico descrito en la Sección II.D. Los estudiantes emplearon mediciones sistemáticas, ajustes iterativos y razonamiento lógico para identificar fallas funcionales, evidenciando un proceso de aprendizaje alineado con metodologías de diseño profesional.

D. Motivación y compromiso del estudiante

Desde una perspectiva cualitativa, los proyectos basados en audio generaron un alto nivel de motivación y compromiso estudiantil, asociado principalmente a la retroalimentación inmediata proporcionada por respuestas audibles y visuales.

Esta característica favoreció la participación activa y el interés sostenido durante el desarrollo del curso, particularmente durante las etapas de implementación y depuración del sistema.

TABLA II.
Rúbrica simplificada de evaluación de los proyectos basados en audio

Criterio	Descripción	Nivel bajo	Nivel medio	Nivel alto
Comprensión conceptual	Aplicación correcta de conceptos de electrónica analógica y no lineal	Uso superficial o incorrecto	Uso adecuado con apoyo docente	Uso autónomo y fundamentado
Diseño del circuito	Coherencia y funcionalidad del diseño multietapa	Diseño incompleto o inestable	Diseño funcional con ajustes	Diseño robusto y optimizado
Integración del sistema	Interacción entre bloques del sistema	Bloques aislados	Integración parcial	Integración completa y coherente
Análisis y depuración	Capacidad para identificar y corregir errores	Dependencia total del docente	Identificación parcial de fallas	Diagnóstico y corrección autónoma
Documentación técnica	Claridad y rigor en esquemas y reportes	Deficiente	Adecuada	Clara, estructurada y técnica

Este nivel de involucramiento se manifestó en una mayor dedicación al refinamiento del diseño, así como en la iniciativa de algunos estudiantes por extender el alcance funcional de sus proyectos más allá de los requerimientos mínimos. Este comportamiento coincide con lo descrito en la literatura sobre proyectos con retroalimentación sensorial inmediata como catalizadores del aprendizaje activo [8], [9].

E. Limitaciones observadas

Si bien los resultados fueron positivos, también se identificaron limitaciones inherentes a este tipo de enfoque. Algunos estudiantes presentaron dificultades iniciales para gestionar proyectos de alcance abierto, especialmente en las primeras etapas de definición del problema y planificación del diseño. Estas dificultades evidencian la necesidad de un acompañamiento docente gradual, particularmente en contextos donde los estudiantes no han sido previamente expuestos a metodologías PBL.

Asimismo, la implementación de proyectos de esta naturaleza requiere una planificación cuidadosa para equilibrar la carga académica y asegurar que los objetivos de aprendizaje se alcancen dentro del tiempo disponible, especialmente cuando se busca la replicabilidad del enfoque en otros contextos institucionales.

F. Síntesis de resultados

En conjunto, los resultados indican que el uso de proyectos de audio como eje metodológico en cursos de electrónica favorece la integración de conocimientos, el desarrollo de habilidades de diseño y una mayor motivación del estudiante. La estructura metodológica adoptada (Fig. 1) y la complementariedad entre los proyectos implementados (Fig. 2) permitieron abordar de manera efectiva conceptos clave de electrónica analógica y no lineal desde una perspectiva aplicada y educativa. Más allá del contexto específico de implementación, los hallazgos sugieren que este enfoque

puede ser replicado y adaptado en distintos programas de ingeniería, constituyéndose como una estrategia pedagógica sólida para la enseñanza de electrónica y diseño de sistemas.

IV. DISCUSIÓN

A. Valor educativo de los proyectos de audio en electrónica analógica y no lineal

Los resultados obtenidos confirman que los proyectos basados en aplicaciones de audio constituyen una herramienta pedagógica eficaz para la enseñanza de la electrónica analógica y no lineal en programas de ingeniería de pregrado. En concordancia con estudios previos, el uso de sistemas de audio permitió que conceptos tradicionalmente abstractos — como la amplificación multietapa, la respuesta en frecuencia y la no linealidad— se manifestaran de forma perceptible, facilitando su comprensión conceptual [6], [8], [9].

Este comportamiento es consistente con estudios recientes que demuestran que las metodologías de aprendizaje activo incrementan significativamente la capacidad de los estudiantes para comprender conceptos complejos y transferirlos a contextos aplicados en ingeniería [2], [12].

A diferencia de enfoques centrados exclusivamente en prácticas de laboratorio guiadas, el desarrollo de proyectos abiertos favoreció una integración más profunda entre teoría y práctica, evidenciada en la capacidad de los estudiantes para justificar decisiones de diseño y analizar el comportamiento real de los circuitos. Este desempeño se reflejó de manera sistemática en los criterios de evaluación definidos mediante la rúbrica cualitativa empleada, particularmente en los indicadores de comprensión conceptual, diseño del circuito e integración del sistema (TABLA II).

Las diferencias cualitativas resumidas en TABLA I son consistentes con los hallazgos reportados en la literatura respecto al impacto del aprendizaje basado en proyectos en la autonomía del estudiante y en la integración efectiva entre

teoría y práctica, reforzando la validez del enfoque adoptado en este estudio [1], [4].

B. Complementariedad de plataformas visuales y auditivas

Un aspecto distintivo del enfoque presentado es la combinación de proyectos que ofrecen retroalimentación visual y auditiva, lo que permitió abordar los contenidos desde múltiples modalidades perceptuales. Mientras que el vúmetro multibanda facilitó la comprensión de la respuesta en frecuencia y del análisis espectral mediante una representación visual directa, los pedales de efectos para guitarra permitieron experimentar de forma auditiva los efectos de la no linealidad y el recorte de señal.

Desde una perspectiva pedagógica, este enfoque multisensorial se alinea con investigaciones actuales que resaltan el valor de integrar múltiples canales perceptuales en el proceso de aprendizaje, lo cual favorece la retención del conocimiento y la construcción de modelos mentales más robustos [3].

Esta complementariedad resultó particularmente valiosa para reforzar la relación entre modelos teóricos, representaciones matemáticas y comportamiento físico del sistema. La literatura sobre aprendizaje activo y multisensorial en ingeniería sugiere que este tipo de enfoques favorece la retención del conocimiento y la transferencia de habilidades a nuevos problemas de diseño [7], [11]. En este sentido, la integración de ambas plataformas dentro de un mismo marco metodológico amplió el alcance formativo del curso sin incrementar significativamente su complejidad estructural.

C. Alineación con enfoques PBL reportados en la literatura

La secuencia metodológica implementada en este trabajo presenta una alta coherencia con modelos de aprendizaje basado en proyectos ampliamente reportados en la literatura de educación en ingeniería. La descomposición de sistemas complejos en bloques funcionales, la progresión desde la simulación hacia el prototipado y la evaluación formativa continua coinciden con buenas prácticas identificadas en estudios previos sobre proyectos de electrónica analógica y sistemas integrados [4], [6], [10].

No obstante, a diferencia de algunos trabajos centrados en proyectos únicos o altamente especializados, el enfoque presentado prioriza la alineación curricular y la función educativa de los proyectos, más que la sofisticación técnica de las soluciones implementadas. Esta decisión permitió mantener un equilibrio entre desafío técnico y viabilidad pedagógica, aspecto considerado crítico para el éxito de experiencias PBL en contextos de pregrado [1], [2].

Adicionalmente, la estrategia de evaluación formativa implementada se encuentra alineada con enfoques contemporáneos que enfatizan la retroalimentación continua como un elemento clave para el aprendizaje profundo y autorregulado en contextos de educación en ingeniería [13], [14].

D. Replicabilidad y transferencia a otros contextos académicos

Si bien los proyectos fueron implementados en un curso específico de diseño electrónico, la estructura metodológica propuesta posee un alto potencial de replicabilidad en otros programas de ingeniería y en distintas instituciones. La selección de plataformas de audio de bajo costo, la modularidad de los proyectos y la independencia de tecnologías propietarias facilitan su adaptación a diferentes contextos curriculares y niveles de formación.

Además, el enfoque no está restringido a la Ingeniería Mecatrónica, pudiendo ser transferido a programas de Ingeniería Electrónica, Biomédica o incluso a cursos interdisciplinarios donde se requiera la integración de electrónica analógica, procesamiento de señales y diseño de sistemas. Este carácter transferible coincide con tendencias actuales en educación en ingeniería que promueven experiencias de aprendizaje contextualizadas y adaptables [5], [11].

E. Limitaciones y proyección futura

Entre las principales limitaciones del estudio se encuentra el carácter predominantemente cualitativo de algunos resultados, a pesar del uso de una rúbrica estructurada de evaluación, así como la dependencia de la experiencia previa de los estudiantes con metodologías de aprendizaje basado en proyectos. Futuras implementaciones podrían complementar este enfoque con instrumentos cuantitativos adicionales, como pruebas conceptuales pre y post intervención o análisis estadísticos más extensos, con el fin de evaluar con mayor precisión el impacto del modelo pedagógico en el aprendizaje.

Asimismo, trabajos futuros podrían explorar la extensión del modelo hacia proyectos que integren electrónica analógica con sistemas digitales o de control, manteniendo el énfasis educativo observado en este estudio. Estas líneas de trabajo permitirían profundizar en el análisis del potencial de los proyectos de audio como plataformas formativas dentro de currículos de ingeniería contemporáneos.

En este sentido, trabajos futuros podrían extender el enfoque presentado hacia proyectos de mayor integración y complejidad, como sistemas de domótica o amplificadores de potencia clase D, con el fin de evaluar la transferibilidad del modelo pedagógico a contextos que involucren electrónica de potencia, control y sistemas embebidos.

V. CONCLUSIONES

Este trabajo presentó un estudio de caso sobre la implementación de proyectos basados en audio —un vúmetro multibanda y pedales de efectos para guitarra— como plataformas educativas para la enseñanza de la electrónica analógica y no lineal en cursos de pregrado en ingeniería. Los resultados obtenidos muestran que la integración de estos proyectos dentro de un enfoque estructurado de aprendizaje basado en proyectos favorece la comprensión conceptual, el desarrollo de habilidades de diseño y un mayor compromiso

estudiantil, al permitir una conexión directa entre el análisis teórico y el comportamiento real de los sistemas electrónicos.

El uso combinado de retroalimentación visual y auditiva demostró ser particularmente efectivo para abordar conceptos abstractos como la respuesta en frecuencia, la amplificación multietapa y la no linealidad, transformándolos en experiencias perceptibles que facilitan el aprendizaje significativo. Asimismo, la descomposición de los sistemas en etapas funcionales y la progresión desde la simulación hasta el prototipo físico contribuyeron a reducir la brecha entre teoría y práctica, alineándose con buenas prácticas reportadas en la literatura sobre educación en ingeniería.

Más allá de los proyectos específicos implementados, el principal aporte de este trabajo reside en la propuesta metodológica y en su enfoque educativo, orientado a la alineación curricular y a la replicabilidad en distintos contextos académicos. La experiencia descrita sugiere que los proyectos de audio constituyen una estrategia pedagógica versátil y transferible, aplicable a diversos programas de ingeniería y adaptable a diferentes niveles de formación.

Finalmente, aunque el estudio se centró en resultados principalmente cualitativos, los hallazgos obtenidos respaldan el potencial de los proyectos basados en audio como herramientas formativas en electrónica analógica y diseño de sistemas. Futuras investigaciones podrían complementar este enfoque mediante evaluaciones cuantitativas más sistemáticas y la integración de proyectos que combinen electrónica analógica con sistemas digitales o de control, manteniendo el énfasis en el valor educativo y formativo del proceso de diseño.

REFERENCIAS

- [1] M. Prince, "Does active learning work? A review of the research," *Journal of Engineering Education*, vol. 93, no. 3, pp. 223–231, 2004.
- [2] S. Freeman et al., "Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 111, no. 23, pp. 8410–8415, 2014.
- [3] M. Hernández-de-Menéndez, A. Vallejo Guevara, J. C. Tudón Martínez, and R. Morales-Menéndez, "Active learning in engineering education: A review of fundamentals, best practices and experiences," *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, vol. 13, no. 3, pp. 909–922, 2019.
- [4] A. Yadav, D. Subedi, M. A. Lundberg, and C. F. Bunting, "Problem-based learning: Influence on students' learning in an electrical engineering course," *Journal of Engineering Education*, vol. 100, no. 2, pp. 253–280, 2011.
- [5] J. L. Bishop and M. A. Verleger, "The flipped classroom: A survey of the research," in *ASEE National Conference Proceedings*, Atlanta, GA, 2013, vol. 30, no. 9, pp. 1–18.
- [6] Mantri, Archana, et al. "Design and evaluation of a PBL-based course in analog electronics." *IEEE Transactions on Education* 51.4 (2008): 432–438.
- [7] L. Shams and A. R. Seitz, "Benefits of multisensory learning," *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 12, no. 11, pp. 411–417, 2008.
- [8] B. D. McPheron and K. Parson, "Using Guitar Pedals to Introduce Amplifier Design and Printed Circuit Board Layout in an Electronics Course," 2021 ASEE Illinois-Indiana Section Conference Proceedings, Virtual, 2021.
- [9] Assaad, Rida S.; SILVA-MARTINEZ, Jose. A graphical approach to teaching amplifier design at the undergraduate level. *IEEE Transactions on Education*, v. 52, n. 1, p. 39–45, 2008.
- [10] J. Gómez, F. J. Lopez, and D. Matellano, "An audio-based visible light communication system for educational purposes," *IEEE Transactions on Education*, vol. 59, no. 1, pp. 21–28, 2016.
- [11] A. J. López-Martín, "Teaching analog electronics with a system-level approach," *International Journal of Electrical Engineering Education*, vol. 45, no. 1, pp. 17–28, 2008.
- [12] R. M. Felder and R. Brent, *Teaching and Learning STEM: A Practical Guide*. San Francisco, CA, USA: Jossey-Bass, 2016.
- [13] P. Black and D. Wiliam, "Developing the theory of formative assessment," *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*, vol. 21, no. 1, pp. 5–31, 2009.
- [14] D. Nicol and D. Macfarlane-Dick, "Formative assessment and self-regulated learning: A model and seven principles of good feedback practice," *Studies in Higher Education*, vol. 31, no. 2, pp. 199–218, 2006.