

Experimental implementation of the content of the Design of Experiments course for the Industrial Engineer career

María Elizabeth Puelles Bulnes, Mg^{id}

Department of Industrial Engineering

Ricardo Palma University, Perú, maria.puellesb@urp.edu.pe

Abstract

The objective is the experimental implementation of the Design of Experiments (DoE) subject as a viable alternative to motivate students and contribute to improving the quality of teaching. The steps of the scientific method were included in a rigorous way. The study was performed with students who enrolled in the Course DoE in the academic semesters between 2019-1 and 2021-2, whether in the presential or virtual modality for the formation of the Industrial Engineer, in the Faculty of Engineering of the Ricardo Palma University (URP), in Lima, Peru. The analysis of the ranking of Peruvian universities that make use of the DoE in their curricular structure was also used in order to learn about the application of the DoE in the university environment. The results of the Analysis of Variance (ANOVA) and the Post Hoc analysis (Tukey) indicate that there are significant differences between the form of formative evaluation in theory-problems and the evaluation in problem solving supported in the experimental field, allowing them to progress in their abilities and skills, as well as to overcome their limitations and obtain a better understanding when applying the DoE statistical tool to obtain success in the industry within the professional field.

Therefore, this article shows the didactic importance of the DoE subject at the undergraduate level, aiming to encourage other universities to include it in the curriculum and thereby introduce it into the scope of experimental training for the industrial engineer.

Keywords

Experimental implementation, Design of experiments, ANOVA, Experimental design.

Implementación Experimental del contenido en la asignatura de Diseño de Experimentos para la formación del Ingeniero Industrial

María Elizabeth Puelles Bulnes, Mg^{Dr}
Ricardo Palma University, Perú, maria.puellesb@urp.edu.pe

Resumen

El objetivo es la implementación a nivel experimental de la asignatura Diseño de Experimentos (DoE) como una alternativa viable de motivación a los alumnos y contribuyendo a mejorar la calidad de enseñanza. Fueron incluidos los pasos del método científico en forma rigurosa. Se realizó el estudio con los estudiantes que cursaron la asignatura DoE en los semestres académicos 2019-1 hasta el 2021-2, tanto en la modalidad presencial y virtual para la formación del Ingeniero Industrial, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma (URP), de Lima, Perú. Así mismo se recurrió al análisis del ranking de las universidades peruanas que hacen uso del DoE en su estructura curricular con la finalidad de tomar conocimiento de la aplicación del DoE en el ámbito universitario. Los resultados en el Análisis de varianza (ANOVA) y el análisis de Post Hoc (Tukey), señalan que existen diferencias significativas entre la forma de evaluación formativa en teoría-problemas y la evaluación en la resolución de problemas apoyadas en el campo experimental, permitiéndoles progresar en sus capacidades y habilidades, así como también, superar sus limitaciones y obtener una mayor comprensión al aplicar la herramienta estadística DoE para la obtención del éxito en la industria dentro del campo profesional.

Por lo tanto, el presente artículo muestra la importancia didáctica de la asignatura DoE a nivel de pregrado, para el programa de Ingeniería Industrial en la URP, pretendiendo incentivar así mismo a otras universidades para que puedan incluirla en el plan de estudios y de esta manera llevarlo al campo de formación experimental para el ingeniero industrial.

Palabras claves: Implementación experimental, Diseño de experimentos, ANOVA, Realización de experimentos.

I. INTRODUCCIÓN

La actualidad peruana, a nivel laboral, requiere de profesionales preparados y competentes que puedan asumir nuevos retos y demostrar mediante sus conocimientos adquiridos, actitudes que destaquen en este ámbito; por esto, las entidades educativas de nivel superior se ven en la imperiosa necesidad de realizar actualizaciones constantes e implementar en sus programas académicos, elementos que permitan la aprehensión correcta de los conocimientos de los alumnos.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Analizando en la Ranking Web (2021) en [5], las investigaciones realizadas en DoE en las 23 mejores universidades peruanas, ya sea como trabajo académico, tesis pregrado y tesis posgrado en los repositorios institucionales, se obtuvieron las informaciones, ver Tabla 1.

TABLA I
RANKING WEB DE LAS UNIVERSIDADES PERUANAS QUE APLICAN EL DOE EN LA PARTE ACADÉMICA – DIC/2021.

Ranking web de las Universidades		APLICACIONES DoE - Perú-2021
		Busqueda en todo el Repositorio
1	Universidad Nacional Mayor de San Marcos	43
2	Pontificia Universidad Católica del Perú	13
3	Universidad Peruana Cayetano Heredia	0
4	Universidad Nacional Agraria La Molina	31
5	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas	20
6	Universidad del Pacífico Perú	3
7	Universidad Nacional de Ingeniería Lima	133
8	Universidad de Lima	5
9	Universidad Científica del Perú	10
10	Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa	134
11	Universidad de Ingeniería y Tecnología UTEC	5
12	Universidad de Piura	30
13	Universidad de San Martín de Porras	35
14	Universidad Nacional de la Amazonia Peruana	16
15	Universidad San Ignacio de Loyola	0
16	Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco	16
17	Universidad Nacional del Altiplano	165
18	Universidad Nacional de Trujillo	2
19	Universidad Privada del Norte	43
20	Universidad Privada Antenor Orrego	0
21	Universidad de Ciencias y Humanidades	problemas en la busq
22	Universidad de Cesar Vallejo	136
23	Universidad Ricardo Palma	1 (grado Magister)

En la Tabla 1, se observa con mayor número de aplicaciones de DoE es la Universidad Nacional del Altiplano, seguido por la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa y luego la Universidad Nacional de Ingeniería. Luego, se procedió a seleccionar 15 universidades con la mayor aplicación del DoE, para realizar un análisis detallado en los currículos de estudio en los cursos de Estadística Aplicada y DoE. Se pudo observar que en la ciudad de Lima solo la URP cuenta con el curso DoE en el Programa de Ingeniería Industrial. Por otro lado, la Universidad Nacional de Ingeniería, desarrolla el DoE dentro del curso de Estadística Aplicada, pero solo en algunos modelos de diseños factoriales. Y como también, otras seis universidades de prestigio en Lima, no tienen la asignatura DoE en sus planes de estudio en los programas de Ingeniería Industrial. Es así como, la URP lidera el grupo de universidades que poseen un sílabo estructurado en

la aplicación del DoE [3] y [4], sin embargo, las tesis de pregrado son escasas, pero con proyección a superar la cifra y tener un buen alcance con el pasar los semestres.

Sobre la creación de la asignatura de DoE, en el pasado Plan de Estudios 2006-II de la Carrera de Ingeniería Industrial de la URP, no estaba contemplada la asignatura Diseño de Experimentos; por lo cual, en el siguiente Plan de Estudios 2015-II que aún se encuentra vigente se optó por incluir dicha asignatura, debido a que juega un papel importante en el quehacer de la ingeniería, además porque es una técnica que ayuda a obtener conclusiones sobre la bondad de un diseño, así como la investigación, el desarrollo y el mejoramiento de procesos y productos en la industria. En la actualidad, esta asignatura es del tipo obligatoria y pertenece al sexto semestre académico. Además, es importante señalar que el ciclo académico consta de 17 semanas, formada por 2 horas de teoría y 2 horas de laboratorio, y está programada con 4 unidades de aprendizaje. En la silabo de estudios, en unidad 1, se realiza un repaso de la distribución t, elaboración de hipótesis con una y dos muestras e introducción al primer modelo DoE, diseño completamente al azar, en la unidad 2, se realiza el desarrollo de DoE de un solo factor como una variable externa llamado el diseño de experimentos de bloque y también se estudia el diseño de cuadrado latino, en la unidad 3, se estudia el diseño de experimentos factorial k y 2 a la k incluyendo el algoritmo de Yates, finalmente en la unidad 4, regresión simple, múltiple lineal, no lineal y logística. A continuación, se comparte la forma de evaluación de la asignatura en mención donde se aprecia que el promedio final (PF) incluye dos evaluaciones de teoría: examen parcial (EP), examen final (EF) y promedio de los laboratorios (PL), siendo eliminada una de las notas más baja de los laboratorios; cada evaluación de teoría es la ponderación de las notas obtenidas por trabajos, proyectos y prácticas calificadas. Ver en la ecuación 1:

$$PF = (EP + EP + PL) / 3 \quad (1)$$

Es así que, a causa del imprevisto aislamiento obligatorio que se inició en el semestre académico 2020-1 a raíz de la pandemia desatada a nivel mundial, por indicaciones de las autoridades superiores se cambió la forma de evaluación (1), incluyendo PRT, que consiste en el promedio de las actividades síncronas, actividades realizadas en la sala virtual y actividades asíncronas, actividades realizadas fuera de la sala virtual, asimismo fueron actualizando los contenidos de cada unidad temática y la nota vigesimal, otorgando facilidades al alumno. Ver en la ecuación 2:

$$(PRT1+PRT2+PRT3+PRT4+PRT5+((LAB1+LAB2+LAB3+LAB4)/3))/5 \quad (2)$$

Como se puede observar en (2), la calificación para el promedio final contempla cuatro evaluaciones PRT, una por cada unidad, considerando al menos una evaluación del tipo síncrona que puede ser un cuestionario, una práctica calificada o una exposición grupal; y, sumándose a ello el promedio de laboratorio (LAB) que puede ser una evaluación del tipo no síncrona que corresponde a trabajos de laboratorio con simulaciones desarrolladas en el lenguaje de programación R.

PRT5 es opcional y reemplaza a la nota más baja de los cuatro PRT.

En todo el proceso del desarrollo de la asignatura, los estudiantes deben ser evaluados en sus habilidades de investigación científica y de los conocimientos adquiridos. Para esto, se les presenta un marco de evaluación llamado rúbrica, que consiste en una serie de criterios organizados en niveles de desempeño en base a los cuales un trabajo será evaluado. Se observó que las rúbricas promueven el pensamiento crítico, haciéndoles reflexionar acerca de su desempeño e identificar fortalezas y debilidades, dependiendo en cada etapa lograda desde la etapa inicial, proceso de desarrollo y conclusiones e interpretaciones. Finalmente, los alumnos obtienen un determinado puntaje en cada proceso de evaluación, lo cual es discutido en clases compartiendo las experiencias de los equipos en la sala virtual.

Asimismo, el programa de Ingeniería Industrial – URP cuenta con aspectos de calidad, actualmente acreditado por el ICACIT y ABET y con reconocimiento por el SINEACE N°067-2018 y N°110-2019 SINEACE/CDAH-P, con lo cual todos los profesores tenemos el compromiso y la responsabilidad para el constante mejoramiento de la calidad de la enseñanza y más aún si nos encontramos rumbo a la reacreditación; así como también, el de permitir a los alumnos una formación en competencias laborales y de investigación, enfocados en la práctica o laboratorio como uno de estos pilares institucionales que les permitan poner en la práctica los conocimientos adquiridos. Particularmente, en el caso de la asignatura DoE, perteneciente al actual Plan de Estudios de la Escuela de Ingeniería Industrial, se busca el desarrollo de competencias genéricas tales como el de pensamiento crítico y creativo, responsabilidad social, resolución de problemas e investigación científica y tecnológica; y, por el lado de las competencias específicas el diseño de ingeniería, gestión de proyectos, experimentación y prueba y que contribuya el aprendizaje para toda la vida profesional. También, se busca que a partir de la elaboración de prácticas de tipo laboratorio estimulen la comprensión de los temas y subtemas del sílabo con el uso de los recursos físicos con los cuales cuenta el programa. Por tal razón, en la propuesta de la asignatura DoE de la Escuela de Ingeniería Industrial incluye el desarrollo de laboratorios haciendo uso de variados modelos de DoEs, logrando mostrar la aplicación de los conceptos estadísticos en desarrollo de casos reales, permitiendo así obtener un modelo constructivista que permita la interacción, análisis e interiorización de conceptos propios de la Ingeniería Industrial por parte de los estudiantes, con la finalidad de determinar cuál son los factores de mayor influencia sobre la calidad de un nuevo producto o ya existente y a su vez, encontrar la mejor combinación posible orientada a la obtención del porcentaje de calidad deseado. Con esta experiencia los estudiantes retroalimentan su conocimiento y aprendizaje, con el fin de corregir errores, perfeccionar acciones y fortalecer competencias para generar propuestas que den posibles soluciones a las problemáticas de su entorno.

Complementariamente, DoE, se puede definir como una herramienta de importancia fundamental en el ámbito de la ingeniería para mejorar el desempeño de un proceso de manufactura, el desarrollo de procesos nuevos productos y en el diseño de ingeniería. Es así como, en la actualidad, uno de los factores claves para el éxito de una industria es que el Ingeniero Industrial debe hacer uso de toda su capacidad de conocimiento y aprendizaje en la universidad, así como de su experiencia. Pues, en la industria, el DoE suele aplicarse básicamente en dos áreas: el diseño y la mejora de procesos y productos [1].

Por otro lado, debido a las reducidas aplicaciones desarrolladas en las tesis de pregrado y posgrado en la URP, en cuanto a esta teoría; se decide llevar a cabo la implementación en el campo experimental dentro del contenido de la asignatura DoE, a partir del semestre académico 2021-1. Realizar las actividades de experimentación e investigación en la sala de aula virtual fue realmente un gran reto por encontrarnos en época de pandemia y no podíamos usar los laboratorios - URP y sobre todo el tiempo que llevaría a los alumnos en realizar el modelaje, construcción, desarrollo en el campo experimental y plantear soluciones a problemas de forma significativa usando el primer modelo de DoE completamente al azar que corresponde a la Unidad I del silabo (iniciando con el primer modelo pues era primera vez que se lleva en marcha en el campo experimental) y también los costos asociados en realizar el experimento. La gran ventaja que en cada semestre todas las asignaturas de la Facultad reciben actualizaciones y en el caso de la asignatura DoE, recibió actualización de su contenido basado en la realización de proyectos en forma grupal y enfocándose a la experimentación de modelos de DoE; así como también, se reestructuraron y ordenaron los temas en cuatro unidades de aprendizaje, y se utilizó el Lenguaje de Programación R ya que posee un excelente entorno para el análisis estadístico y gráfico.

II. OBJETIVO

El principal objetivo del presente trabajo es investigar si existe alguna diferencia significativa entre la forma de evaluación formativa en teoría-problemas y la evaluación en la resolución de problemas apoyadas en el campo experimental en la asignatura de Diseño de Experimentos.

Para ello utilizaremos el rendimiento académico de los alumnos, considerando los diez promedios finales más altos obtenidos en cada semestre académico de los seis semestres en total (2019-I, 2019-II, 2020-I, 2020-II, 2021-I y 2021-2), equivalente a tres años de observación. Cabe resaltar que solo dos semestres 2021.1 y 2021.2 se comenzó a realizar la implementación de la investigación experimental en la asignatura del Diseño de Experimentos.

Por lo tanto, el presente artículo muestra la importancia didáctica de la asignatura DoE a nivel de pregrado, pretendiendo incentivar así mismo a otras universidades para que puedan incorporar esta asignatura a nivel de pregrado y de

esta manera llevarlo al campo formación experimental, contribuyendo a mejorar la calidad de la enseñanza.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

DoE es una técnica que consiste en realizar una serie de experimentos y como tal cubre varias etapas del método científico, tras la definición de las hipótesis y objetivos de la investigación, luego contrastar esas hipótesis y la toma de decisiones apropiadas [1], [2]. En los experimentos permite a los investigadores evaluar el efecto de una variable independiente sobre un resultado específico. Como tal, un principio clave de un buen diseño experimental es la precisión al procedimiento a través del cual el investigador cambia o altera la causa de las condiciones de la variable independiente en un grupo de tratamiento y un grupo de control [17]. En [16], el uso de los experimentos casi nunca ha tenido peso en las asignaturas de estadística ocasionando que las prácticas actuales en las aulas no son suficientes para que los estudiantes identifiquen y comprendan los conceptos de DoE y la aplicación en un ámbito industrial. El autor Qing-Song et al. [17], manifiesta que los diseños y modelos experimentales son muy importantes en la quimiométrica e ingeniería. La investigación de Sagastume [18] en la UNITEC, tuvo como objetivo principal fortalecer la experiencia práctica de los estudiantes de DoE a través del uso de herramientas didácticas y para ello mejoraron el kit Catapulta NCMR, con ello consiguieron averiguar en que forma influyen cada una de las variables en la distancia del lanzamiento de un objeto. Actualmente es una de las instituciones educativas que hacen énfasis en el aprendizaje didáctico resolviendo problemas de la vida real, en laboratorios o utilizando herramientas, software, kits u otro tipo de tecnología utilizando DoE. El autor Arteaga [19], aborda el proceso de adopción de herramientas tecnológicas y metodologías activas como recurso didáctico dinamizador para la enseñanza de materias STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas) en bachillerato. Después de una revisión sistemática junto con el análisis documental de 45 documentos de gran relevancia y la aplicación del cuestionario sobre el uso de herramientas tecnológicas en innovación sobre nuevas formas de enseñar a 556 docentes de bachillerato en Ecuador, UNITEC, permitió inferir que, la planificación del tiempo, la apropiada selección de herramientas tecnológicas y la retroalimentación efectiva al estudiante son aspectos relevantes a incluir en programas formativos para docentes de materias STEM. Sin embargo, eso no es suficiente, pues existe además un factor de gran importancia y es que los programas académicos deberán desarrollar en el estudiante que es la capacidad para investigar desde los niveles básico y bachillerato. El desarrollo de tales competencias en el estudiantado permitirá al profesorado reflexionar sobre los conocimientos previos de sus alumnos y tomar mejores decisiones sobre qué y cómo enseñar. En [21], trata de un estudio de revisión sistemática cuyos objetivos son: (1) caracterizar aquellas intervenciones didácticas que declaran seguir un enfoque educativo STEM; y (2) evaluar su efecto

sobre la actitud del alumnado hacia la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas. Los principales resultados evidencian que, por un lado, existen contradicciones teórico-prácticas en los trabajos analizados en cuanto a la implementación de este enfoque educativo y, por otro, parece que la educación STEM es capaz de promover actitudes positivas entre el alumnado. En la actualidad existe evidencia científica que indica que el desarrollo de habilidades de investigación en los estudiantes es de utilidad para conectar con el mercado laboral actual o futuro, debido a que pueden ser competencias requeridas para trabajar dentro de una organización o de manera autónoma e independiente. En [21] enfatizan en la importancia de las características curriculares para fomentar las habilidades de investigación de los estudiantes y recomienda incluir en los programas de formación profesional estrategias pedagógicas basadas en el desarrollo de este tipo de competencias. Por otro lado, en [22] describe la experiencia pedagógica de la implementación de un proyecto de aula basado en el aprendizaje cooperativo para el desarrollo de competencias investigativas psicométricas en estudiantes universitarios, a partir del análisis de la confiabilidad y validez de instrumentos de medición y evaluación psicológica. Se encontró que este tipo de estrategias favorece al desarrollo de habilidades para la investigación científica, potencia el trabajo en equipo y aumenta las interacciones sociales entre el alumnado. También en [15] y [23], expone que el aprendizaje cooperativo y exitoso se basa en experiencias directas en modelos interactivos pues intervienen maduración, experiencia, equilibrio y transmisión social. Se concluye que la enseñanza en el campo experimental del DoE es parte importante en la educación científica y que el aprendizaje cooperativo es efectivo para la formación de diferentes competencias investigativas, así como otras habilidades importantes para acceder a oportunidades laborales actuales o futuras donde se requieran este tipo de competencias.

IV. METODOLOGIA

Los alumnos realizaron sus experimentos aplicando el modelo DoE completamente al azar, siguiendo la metodología de Montgomery [1]. Para utilizar un enfoque estadístico en el DoE es necesario que todas las personas involucradas en el proceso entiendan claramente de qué se trata el problema, qué es lo que se va a estudiar, cómo se recolectarán todos los datos y tener una idea clara del análisis cuantitativo que se llevará a cabo. Para ello debe identificarse la variable de respuesta o interés del estudio, la variable independiente, si existe o no variables externas. El autor [1] presenta una guía detallada para diseñar un experimento, que consiste en los siguientes siete pasos: 1) planteamiento del problema, 2) selección de la(s) variable(s) respuesta, 3) elección de factores y niveles, 4) elección del diseño experimental o tipo de experimento, 5) desarrollo del experimento, 6) análisis estadístico de los datos, y 7) conclusiones y recomendaciones. Lo importante que en el planteamiento del problema lleva a deducir cuál variable

respuesta será medida, los factores y sus niveles y a su vez, según la escala de estas variables, qué tipo de análisis elegir. El esquema del diseño del estudio en general se muestra en la Figura 1.

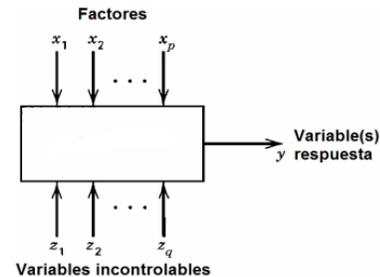


FIGURA 1. DISEÑO DE VARIABLES

En la Figura 1, se muestran las variables externas incontrolables y los factores que corresponden a las variables independientes en lo cual se realizarán cambios deliberados y observar sus respuestas. También se consideró los principios básicos del DoE en la etapa de experimentación tales como el proceso de aleatorización, bloque y repetición.

El experimento fue realizado en forma grupal lo cual ayudó a minimizar los gastos, cada grupo y en cada semestre estuvieron formados de 4 a 5 alumnos aproximadamente. Teniendo la idea del experimento, los estudiantes enumeran los materiales que necesitan desde sus domicilios, con las posibilidades y limitaciones de cada uno de los que conforman el equipo, debido a que por la pandemia no pueden trasladarse hasta las instalaciones de la universidad. Por ello, el enfoque en este paso, también se trata de la elección de las herramientas adecuadas para el experimento, y sobre todo que cada uno lo realice bajo las mismas condiciones, caso contrario, los resultados pueden tomar otro rumbo de lo normal.

V. DATASET

Para evaluar si existe diferencia significativa en los rendimientos académicos en los semestres dictados del 2019 al 2021, sin y con llevar a cabo en el campo experimental en la asignatura DoE, se escogió realizar el análisis con el diseño completamente al azar de efectos fijos, debido a los siguientes motivos:

- Efecto fijo, porque fueron elegidos los semestres académicos elegidos del 2019 al 2020 (4 semestres) sin llevar a cabo la implementación de la investigación experimental y solo en el año 2021 (2 semestres) llevando a cabo la implementación de la investigación experimental en la asignatura DoE, dos semestres académicos por año.
- Diseño completamente al azar, pues observamos que no hay una variable externa pueda influenciar directamente en el rendimiento académico.

En cada semestre académico fueron considerados 10 grupos, aquellos grupos que tuvieron los promedios más altos.

En los semestres académicos 2019.1, 2019.2, 2020.1 y 2020.II, no se llevó a cabo a cabo la implementación experimental y las clases fueron presenciales a un nivel teórico-práctico. En los semestres académicos 2021.1, y 2021.2, se llevó a cabo la implementación experimental y las clases fueron virtuales. Los rendimientos académicos de los alumnos de 2019 al 2021, son mostradas en la Tabla 2.

TABLA 2. NOTAS PROMEDIOS DE LOS ALUMNOS DEL CURSO DoE, EN LOS SEMESTRES 2019.1 AL 2021.2

Grupos	RENDIMIENTO ACADÉMICO					
	2021.2	2021.1	2020.2	2020.1	2019.2	2019.1
1	18	17	19	14	15	15
2	19	16	16	20	16	20
3	17	11	15	17	19	17
4	20	18	18	16	19	15
5	20	12	14	16	12	18
6	16	17	20	16	16	16
7	20	16	16	12	17	19
8	19	20	18	17	17	12
9	18	12	15	15	19	16
10	18	11	12	11	15	19

VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1 RESULTADO NUMÉRICO DEL ANOVA

Formulación de hipótesis

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6$$

No existe diferencia significativa en los semestres dictados sobre el rendimiento académico de los alumnos.

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \quad i \neq j, i, j = 1, 2, 3, 4, 5$$

Existe al menos un par de medias diferentes, o sea, hay diferencia significativa entre los semestres dictados sobre el rendimiento académico de los alumnos.

Obtenemos la tabla Anova, ver la Tabla 3:

Table 3. Matrix of results of timed times in minutes and seconds.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Semestre	5	74.8	14.960	2.512	0.0407
Residuals	54	321.6	5.956		

Se observa en la Tabla 3, el $p_valor = 0.0407 < \alpha = 0.05$, por consiguiente, existe evidencia para rechazar la hipótesis H_0 . Por lo tanto, existe diferencia significativa en los semestres dictados sobre el rendimiento académico de los alumnos. Para saber en cuál de ellos dio la diferencia se aplicará el Pos-Hoc

6.2 ANÁLISIS POS-HOC

Para saber cuál de los semestres difieren sus medias, se aplicó la prueba de Tukey, donde el p_valor indica si existe o no una diferencia estadísticamente significativa entre cada par de medias en comparación. Se formaron quince pares de hipótesis, obteniendo los resultados en la Tabla 4. Se observa que, solo un par de semestres 2021.1 y 2021.2 tiene el $p_valor = 0.0259951 < 0.05$, entonces hay una diferencia estadísticamente significativa

en los semestres 2021.1 y 2021.2 a un nivel de confianza al 95%. Podemos concluir que los rendimientos académicos en los semestres 2021.1 y 2021.2 si fueron significativos, en lo cual se implementó la realización de los experimentos llevados a cabo por los alumnos en la forma virtual en la asignatura DoE.

TABLA 4: ANÁLISIS DE POS-HOC – PRUEBA DE TUKEY

```

Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Rendimiento ~ Semestre)

$Semestre
      diff      lwr      upr    p adj
2019.2-2019.1 -0.2 -3.4244611 3.024461 0.9999697
2020.1-2019.1 -1.3 -4.5244611 1.924461 0.8391400
2020.2-2019.1 -0.4 -3.6244611 2.824461 0.9990861
2021.1-2019.1 -1.7 -4.9244611 1.524461 0.6292415
2021.2-2019.1  1.8 -1.4244611 5.024461 0.5704028
2020.1-2019.2 -1.1 -4.3244611 2.124461 0.9133196
2020.2-2019.2 -0.2 -3.4244611 3.024461 0.9999697
2021.1-2019.2 -1.5 -4.7244611 1.724461 0.7418524
2021.2-2019.2  2.0 -1.2244611 5.224461 0.4541817
2020.2-2020.1  0.9 -2.3244611 4.124461 0.9616650
2021.1-2020.1 -0.4 -3.6244611 2.824461 0.9990861
2021.2-2020.1  3.1 -0.1244611 6.324461 0.0661052
2021.1-2020.2 -1.3 -4.5244611 1.924461 0.8391400
2021.2-2020.2  2.2 -1.0244611 5.424461 0.3471364
2021.2-2021.1  3.5  0.2755389 6.724461 0.0259951

```

6.3 VALIDACIÓN DEL MODELO ANOVA

Para que los resultados obtenidos del ANOVA sean confiables, es necesario realizar la verificación de la normalidad, homocedasticidad de varianza e independencia de residuos.

6.3.1 Prueba de Normalidad

H_0 : Los datos provienen de una distribución normal.

H_1 : Los datos no provienen de una distribución normal.

Considerando $\alpha = 0.05$, obtenemos el resultado de la prueba de Anderson Darling, en la Tabla 5:

En la Tabla 5, se observa que el $p_valor = 0.3324 > 0.05$, entonces no hay evidencia para rechazar la hipótesis H_0 . Podemos decir que, los datos vienen de una distribución normal.

TABLA 5. PRUEBA DE ANDERSON DARLING

```

Anderson-Darling normality test

data: data20_anova$residuals
A = 0.41068, p-value = 0.3324

```

6.3.2. Prueba de Varianza

H_0 : Existe igualdad de varianza

H_1 : No existe igualdad de varianza

Considerando $\alpha = 0.05$, obtenemos el resultado de la prueba de Levene, en la Tabla 6:

En la Tabla 6, se observa que el $p_valor = 0.4207 > 0.05$, entonces no hay evidencia para rechazar la hipótesis H_0 . Podemos decir que, existe igualdad de varianza.

TABLA 6. PRUEBA DE LEVENE

Modified robust Brown-Forsythe Levene-type test based on the absolute deviations from the median
 data: Rendimiento
 Test Statistic = 1.0102, p-value = 0.4207

6.3.3. Prueba de Independencia de Residuos

H0: Existe independencia de residuos

H1: No existe independencia de residuos

Considerando $\alpha = 0.05$, obtenemos el resultado en la Figura 2, se observa que no es evidente ninguna estructura inusual, por tal motivo se acepta H₀, es decir, existe independencia de residuos.

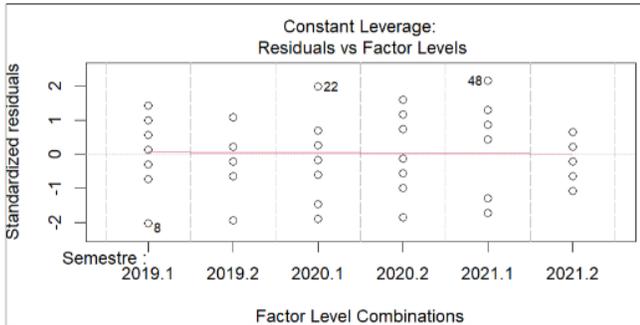


Figura 2: Residuos Estandarizados versus los niveles de los factores

Se comprueba que los resultados del Anova son consistentes y podemos afirmar que si hubo una diferencia significativa en los semestres académicos 2021.1 y 2022.2 cuando se implementó la realización experimental y las clases fueron en forma virtual en la asignatura DoE.

6.2 RESULTADO NUMÉRICO DE LA IMPLEMENTACIÓN EXPERIMENTAL

Considerando la implementación experimental en los semestres académicos 2021-1 y 2022-I en la asignatura DoE y en cada semestre académico fueron considerados 10 grupos de alumnos siendo en total 20 grupos de alumnos por los dos semestres académicos, un total de 90 alumnos aproximadamente, se obtuvieron los siguientes resultados:

- En la Identificación del problema, el 90% de los grupos no tenían ni idea en qué y cómo realizar el experimento. Se buscó en las redes sociales y se encontró poco material sobre los experimentos en DoE y los pocos experimentos encontrados no seguían los pasos del método científico, se procedió a reforzar sobre los temas de elección realizando una lista de problemas y preguntas que van a abordarse en el experimento.
- En la Identificación de las variables del modelo, el 60% de los grupos comprendieron cuáles eran esas variables del modelo y fue necesario rescatar que, para aplicar el modelo de DoE completamente aleatorio, es necesario estar consciente que no existen variables externas llamadas ruido, que puedan afectar a la variable de respuesta; y que puede aumentar la

variabilidad del error por no considerar aquella(s) variable(s) y en el caso que sea detectado la variable ruido se trataría del modelo de DoE en bloques que no era la aplicación.

- En la Formulación de hipótesis, sólo el 50% de los grupos consiguieron formular las hipótesis en forma correcta, realmente fue un desafío por la falta de experiencia y por los materiales a utilizar y más aún si se trabaja en equipo y por pandemia el experimento se realizó todo en forma virtual.
- En los materiales, se observó que en este proceso solo el 80% de los grupos, consiguieron obtener los materiales homogéneos, siendo importante tanto en la utilización de los materiales y costos implicados en la realización del experimento, la forma como deberían de reproducir el experimento por cada integrante del grupo y las herramientas a ser utilizadas.
- En el proceso de aleatoriedad y repeticiones, el 85% de los grupos realizaron correctamente el sorteo aleatorio y la asignación de las unidades experimentales a los tratamientos, solo 15% de los equipos utilizaron urnas pequeñas y en el momento de la extracción de las fichas, primero salieron las últimas fichas depositadas y no hubo orden aleatorio en el experimento. En estos casos, se comprobó que, en la validación del modelo, no cumplía la independencia de residuos, y por el tipo de experimento no se pudo aprovechar las muestras, se procedieron a eliminar y realizar una nueva experimentación.
- En la realización del experimento, el 70% de los grupos realizaron correctamente los experimentos y el 30% hicieron variaciones involuntarias en el proceso de experimentación, en ese caso, algunos grupos realizaron por segunda vez el experimento y otros equipos por motivo de costos no consiguieron realizarlo nuevamente.
- En el análisis de datos, se introdujo la importancia de inspeccionar, limpiar y observar los datos si existe presencia de datos inconsistentes o outline. Luego, los estudiantes utilizaron el lenguaje R para obtener los resultados del ANOVA.
- A continuación, en la Tabla 7, se comparten algunos de los títulos de los proyectos seleccionados y que fueron grabados y colocados en YouTube [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13] y [14].

TABLA 7. TEMAS DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL -2021

Proyectos en DoE	
1	La efectividad de las diferentes marcas de té de canela y clavo influye en el tiempo de infusión.
2	Determinar si los efectos son significativos de diferentes tipos de flan en el tiempo de cuajado.

3	Determinar si los efectos son significativos de diferentes marcas de café pasado en el tiempo de disolución.
4	Determinar si hay algún efecto significativo en la resistencia del papel higiénico.
5	Conocer si hay algún efecto de los diferentes tipos de arroz en el tiempo de absorción del agua antes del proceso de cocción.
6	Efectividad de los diferentes tipos de fideos en el tiempo del proceso de cocción.
7	Existe algún efecto significativo en las diferentes aguas de mesa con respecto al peso de las botellas.
8	Las diferentes marcas de arroz son diferentes en el tiempo de cocción.
10	Determinar si hay algún efecto significativo de diferentes tipos de cloros en el tiempo de retirar una mancha.
12	Existe algún efecto significativo en los diferentes tipos de marca de leche en el tiempo de cortado.
13	Existe algún efecto significativo en diferentes tratamientos con respecto al tiempo de oxidación de la palta.
14	Determinar si hay algún efecto significativo en el tiempo de renderizar una imagen en diferentes tipos de computadoras.
15	Medición de la efectividad en el tiempo de congelación de diferentes soluciones acuosas.

VII. CONCLUSIONES

Por medio de la presente investigación se comprobó estadísticamente que los alumnos se encontraron mayor motivados en los semestres 2021.1 y 2021.2, cuando se implementó la asignatura DoE en el campo experimental y la virtualidad no fue impedimento en realizar el experimento gracias a la Tecnología de hoy en día.

Los alumnos llegaron a comprender y desarrollar los pasos del método científico y además de comprobar las hipótesis, de esta forma se garantiza la obtención de información de calidad y confiable.

La experimentación es muy importante, pero muchas veces se pasa por alto cuando el profesor enfoca la enseñanza de contenido. Asimismo, el alumno con frecuencia recibe las horas de teoría y de práctica o laboratorio en la asignatura de DoE; sin embargo, lo que no se les permite a los estudiantes es tomar y desarrollar sus habilidades y competencias a nivel experimental y existe poca interacción con el alumno.

Se comprobó que el campo experimental trae más beneficios ya que los alumnos se encuentran más motivados en el desarrollo de la asignatura, contribuyendo a mejorar la calidad en la enseñanza en ingeniería industrial y a fines.

El trabajo realizado por los alumnos fue colocado en las redes sociales y sirve como base de difusión y ayuda a otros alumnos e investigadores avanzar en el campo de la experimentación a niveles más complejos de pensamiento científico en los modelos DoE.

Por medio de la presente investigación se comprobó estadísticamente que los alumnos se encontraron mayor

motivados en los semestres 2021.1 y 2021.2, cuando se implementó la asignatura DoE en el campo experimental.

VIII. RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar la asignatura DoE en el campo experimental, para lograr mejores resultados de aprendizaje en los estudiantes universitarios. Los nuevos retos de la educación superior demandan la adquisición y desarrollo de competencias investigativas que puedan ser útiles para responder a las nuevas exigencias del entorno laboral, lo cual, es un fuerte motivador para replantear las estrategias pedagógicas empleadas, dado que se requieren nuevas formas de lograr el conocimiento en los estudiantes, integrando metodologías basadas en el trabajo en equipo, como es el caso del aprendizaje cooperativo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad Ricardo Palma, a los estudiantes que cursaron la asignatura de Diseño de Experimentos, entre los semestres académicos 2019-1 y 2021-2. Sin ellos no hubiera sido posible la ejecución de este artículo.

REFERENCIAS

- [1] Montgomery, D., Design and analysis of experiment. 9th ed. USA: Wiley, 2017.
- [2] Fernández S., y J. Mosquera. Análisis del Rendimiento de los Estudiantes aplicando Diseño de Experimentos: Caso Particular. Scientia et Technica Año XVI, No 44, Abril de 2010. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701.
- [3] Plan de Estudios 2006-II – Información Académica – Ingeniería Industrial – Escuelas – Facultad de Ingeniería – Pregrado [Online]. Available: <https://www.urp.edu.pe/pregrado/facultad-de-ingenieria/escuelas/ingenieria-industrial/informacion-academica/>
- [4] Plan de Estudios 2015-II – Información Académica – Ingeniería Industrial – Escuelas – Facultad de Ingeniería – Pregrado [Online]. Available: <https://www.urp.edu.pe/pregrado/facultad-de-ingenieria/escuelas/ingenieria-industrial/informacion-academica/>
- [5] Ranking Web de las Universidades. Universities: July 2021/Edition 2021.2.1 beta. https://www.webometrics.info/es/latin_america_es/per%C3%BA
- [6] Chávez, J., Damián, M., Román, A., Aldana. DISEÑO DE EXPERIMENTO EN EL TIEMPO DE CUAJADO DE 3 DIFERENTES MARCAS DE FLAN. Universidad Ricardo Palma. Escuela de Ingeniería Industrial. 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=Thqasycgres&t=27s>
- [7] Ponce, S., Rojas, W. DISEÑO DE EXPERIMENTOS ANÁLISIS ANOVA EN TRES MARCAS DE LEJÍA. Universidad Ricardo Palma. Escuela de Ingeniería Industrial. 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=WyHQatzLILI>
- [8] Almanza, S., Rodríguez, A., Figueroa S. DISEÑO DE EXPERIMENTO COMPLETAMENTE AL AZAR EN EL TIEMPO DE CUAJADO DE GELATINAS. Universidad Ricardo Palma. Escuela de Ingeniería Industrial. 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=UXXhxi16XVU&t=1s>
- [9] Castillo, J., Flores, R., Gudiel, J. DISEÑO DE EXPERIMENTOS COMPLETAMENTE ALEATORIO PARA EL TIEMPO DE REACCIÓN DE LA LECHE. Universidad Ricardo Palma. Escuela de Ingeniería Industrial. 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=nyh4V0Oy4mQ&t=1s>
- [10] Huari, J., De Souza, D., Cruz, S. DISEÑO DE EXPERIMENTOS EN LOS TIEMPOS DE CONGELACIÓN DE SOLUCIONES ACUOSAS

- DE 3 DIFERENTES SOLUTOS. Universidad Ricardo Palma. Escuela de Ingeniería Industrial. 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=nzmmWpkNDCY&t=1s>
- [11] Huapaya, F., Alfriadez, J., Mendoza, W. DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA EL RENDIMIENTO DE PROCESADORES PARA LA RENDERIZACIÓN DE IMÁGENES. Universidad Ricardo Palma. Escuela de Ingeniería Industrial. 2021. https://www.youtube.com/watch?v=jOmt_9NTxzQ&t=5s
- [12] Trujillo, J., Najarro, S., Corrales, O. DISEÑO DE EXPERIMENTOS ALEATORIO PARA EL TIEMPO DE COCCIÓN DE PAPAS. Universidad Ricardo Palma. Escuela de Ingeniería Industrial. 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=-AgKXshSbJs&t=170s>
- [13] Escalante, A., García, M., Tello, M. DISEÑO DE EXPERIMENTOS EN LA RESISTENCIA DEL PRODUCTO PAPEL HIGIÉNICO. Universidad Ricardo Palma. Escuela de Ingeniería Industrial. 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=vWOZF1Swnbc>
- [14] García, M., Cuzcano, R., Quispe, J. DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA MEDIR LA EFICIENCIA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CAFÉS. Universidad Ricardo Palma. Escuela de Ingeniería Industrial. 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=ozzQuXUcjSQ>
- [15] BACICH, L.J. MORAN. METODOLOGIAS ATIVAS PARA UMA EDUCAÇÃO INOVADORA. Uma abordagem teórico-prática. Penso Editora Ltda. Porto Alegre-Brasil, 2017. <https://curitiba.ifpr.edu.br/wp-content/uploads/2020/08/Metodologias-Ativas-para-uma-Educacao-Inovadora-Bacich-e-Moran.pdf>
- [16] Malquichagua, M., ANÁLISIS DE SITUACIONES – PROBLEMA PARA LA ENSEÑANZA DE LA PROBABILIDAD EN LA EDUCACIÓN. TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN ENSEÑANZA DE LAS MATEMÁTICAS. Escuela de Posgrado. Pontificia Universidad Católica del Perú. PUCP, 2019.
- [17] Qingsong X., Yuanda X., Lan L. and Kaitai F. *Journal of Chemometrics*. Uniform Experimental Design in Chemometrics. Vol.32 (11), p.e3020. 2018.
- [18] Sagastume, A. Fortalecimiento de la experiencia práctica de estudiantes del DOE mediante el diseño de herramientas didácticas. Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC). Facultad de ingeniería, 2020.
- [19] Arteaga, M., Sánchez A., Olivares, P. and Maurandi A., Revisión Sistemática y propuesta para la implementación de metodologías activas en la educación STEM. *EDUCATE CONCIENCIA*. vol. 30 (36), pages 35-76, 2022.
- [20] Aguilera, D. *Libro en actas del X Congreso Universitario Internacional sobre contenidos, investigación, innovación y docencia*. ¿Qué evidencias existen sobre la influencia de la educación STEAM del alumnado?, pages 621, 2020.
- [21] Maddens, L., Depaape, F., Janssen, R., Raes, A. and Elen, J. Research skills in upper secondary education and in the first year of university. *Educational Studies*, 3(5), pages 1-17, 2020.
- [22] Hernández Sánchez, I. B., Lay, N., Herrera, H. and Rodríguez, M. Estrategias pedagógicas para el aprendizaje y desarrollo de competencias investigativas en estudiantes universitarios. *Revista de Ciencias Sociales*. vol. XXVII (2), 242-255, 2021.
- [23] Silva, J., Amayri, M., Ploix, S. and Santos, C., Cooperative and Interactive Learning to estimate human behaviors for energy application. *Energy & Buildings*, 258, 2022.