

Simulador para la Enseñanza del Diseño de Experimentos

Alexander A. CORREA ESPINAL

Departamento de Ingeniería de la Organización, Universidad Nacional de Colombia, alcorrea@unal.edu.co
Medellín, Antioquia, Colombia

D. Faviana GUTIERREZ ROA

Departamento de Ingeniería de la Organización, Universidad Nacional de Colombia, dfgutierrezr@unal.edu.co
Medellín, Antioquia, Colombia

RESUMEN

El presente artículo muestra el desarrollo de un simulador de una fábrica de alimento balanceado para perros desarrollado con lenguaje de programación Visual Basic®, en la versión integrada a la aplicación Excel® de Microsoft Office®, con el fin de proporcionar resultados experimentales a partir de condiciones especificadas por el estudiante, respetando los principios básicos exigidos por el diseño de experimentos y teniendo en cuenta la variabilidad de los materiales, de las condiciones de la máquina, de los métodos de trabajo y de las inspecciones; los cuales afectan naturalmente a las características de calidad de cualquier producto. El Simulador está conformado por tres hojas de cálculo: Bienvenido! Experimento y Resultados, puede emplearse en la versión 2003, 2007 o 2010 de Microsoft Excel® y se utiliza como apoyo pedagógico para la enseñanza de la estadística, mejorando el razonamiento y el entendimiento de conceptos estadísticos del diseño de experimentos en los estudiantes.

Palabras Claves: Diseño de experimentos, simulador de experimentos, enseñanza de la estadística, estadística aplicada.

1. INTRODUCCIÓN

Los estudiantes a menudo asisten a las clases de estadística con la idea preconcebida de que es una asignatura confusa y aburrida [1], la consideran difícil de aprender y no perciben su utilidad [2], pues la juzgan como una especie de arte místico que puede emplearse para ocultar la verdad o para lograr que los datos digan lo que uno desea. Otro aspecto fundamental generador de desmotivación frente a la estadística es la transversalidad de esta asignatura a la mayoría de las disciplinas [3], en las cuales, la habilidad para entender, interpretar y evaluar críticamente los resultados de investigaciones se ha convertido en una competencia esencial [4, 5]. Este hecho se agrava por la gran cantidad de contenidos contemplados en un solo curso, que además de enfocarse de manera general y abstracta, excluye la riqueza práctica de estos conceptos. Por ejemplo, los estudiantes de ingeniería que son más proclives al aprendizaje práctico y

orientado al resultado, no perciben la utilidad de estos conceptos en sus formaciones académicas [6].

Considerando que la principal barrera para la enseñanza de la estadística es la abundancia de conceptos abstractos y algunas veces nada intuitivos, es muy importante que los educadores desarrollen nuevas estrategias para motivar a los estudiantes a cultivar la estadística [1] y mejorar su actitud hacia ella [3]; haciendo énfasis en cómo enseñar estadística a grupos de estudiantes heterogéneos tanto en edad como en disciplinas de formación [7] y teniendo en cuenta que, independientemente de cuán claro explique el profesor los conceptos, los estudiantes solo los entenderán, cuando ellos obtengan por sí mismos su significado [8], pues enseñar no es repetir, ni aprender es recordar [2]. Algunos estudios muestran que aunque los estudiantes puedan ser hábiles en sus evaluaciones o desarrollen correctamente sus cálculos, ellos pueden todavía tener los conceptos básicos errados [9].

Entre las estrategias para motivar a los estudiantes se tiene la simulación física, que incluye ejercicios con monedas, dados u objetos que pueden ser manipulados por los estudiantes [10, 11]; evocación de anécdotas relacionadas con el pensamiento estadístico, ya sea por su buen uso o las consecuencias de no haberlo implementado, como por ejemplo las mencionadas por Tufte [12]; historias humorísticas como las de *How to Lie with Statistics* [13]; analogías con situaciones familiares [1, 14]; ilustraciones y simulación computacional entre otras.

Cuando se hace referencia a la simulación computacional, no se refiere solamente al *software* empleado para el análisis estadístico de los datos [15], sino que se amplía al uso que los estudiantes le dan para la creación de modelos para diagnosticar posibles violaciones de supuestos, el uso de números aleatorios para generar muestras y probar modelos, modificar parámetros o simular situaciones [3, 16–18].

La simulación computacional conlleva grandes beneficios como el mejoramiento del razonamiento y el entendimiento de conceptos estadísticos [19–23]; motiva

a los estudiantes, quienes aprenden haciendo [6, 23]; emula situaciones de la vida real [1, 24]; proporciona un contexto sobre el cual se valora la utilidad de la estadística [25]; permite mostrar a los estudiantes aspectos que no pueden ser fácilmente observados en condiciones normales [26] e incluso resuelve los problemas logísticos que muchos profesores enfrentan cuando tienen grupos grandes de estudiantes con los cuales se dificulta la visita a entornos laborales.

Sin embargo, como educadores es importante recordar que la percepción que se tenga de todas las estrategias para transmitir la estadística, incluida la simulación computacional, difiere de la percepción que los estudiantes puedan tener de ellas. En lo posible, se debe acompañar con un instructivo que incorpore todos los detalles para que los estudiantes desarrollen la actividad entendiendo los conceptos sin caer en el mecanicismo [25].

Para la simulación se pueden utilizar hojas de cálculo [3, 27], aunque algunos autores no las consideren adecuadas para este tipo de propósitos [24]. También se puede utilizar programas estadísticos comerciales o cualquier lenguaje de programación. Incluso algunos de los programas permiten incluir animaciones.

2. SIMULADOR PARA LA ENSEÑANZA DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Para complementar la enseñanza del diseño de experimentos se puede recurrir a los simuladores computacionales que permiten a los estudiantes afianzar e interiorizar los conceptos estadísticos impartidos previamente por el profesor en las clases teóricas, evitando incurrir en costos de desplazamiento para visitas a plantas de producción y costos de materiales. Así mismo, se ahorra el tiempo de ejecución porque se evitan los paros en los procesos productivos analizados, entre otras ventajas [28–30].

Es así como los autores proponen el desarrollo y uso de un simulador del proceso de fabricación de alimento balanceado para perros, como apoyo a la aplicación de técnicas de diseño de experimentos, el cual fue desarrollado con lenguaje de programación Visual Basic®, en la versión integrada a la aplicación Excel® de Microsoft Office®, a partir del caso práctico elaborado con fines académicos por Xavier Tort-Martorell, Pere Grima y Lluís Marco.

El Contexto

El simulador recrea una problemática en el proceso de fabricación de alimento balanceado para perros. Para ello se presenta la descripción detallada del proceso productivo, un análisis descriptivo preliminar de la densidad, por ser la variable que se sospecha que tiene mayor influencia en la variabilidad del proceso y por

tanto en los defectos que se vienen observando; las conclusiones de dicho análisis; el diagrama de causa-efecto diseñado a partir de la problemática y los factores que inciden directamente sobre la variable respuesta, los cuales se presentan a continuación:

A: Porcentaje de grasa

B: Caudal de alimentación

C: Apertura del plato de restricción

D: Temperatura de entrada

E: Caudal de agua

T: Porcentaje de almidón en las harinas

Finalmente, se incluyen restricciones en la cantidad de pruebas experimentales que pueden realizarse, con el fin de emular la realidad que la mayoría de las fábricas enfrentan.

Los Lineamientos

Después de contextualizar al estudiante sobre la problemática a resolver, se muestran los lineamientos que debe tener en cuenta para alcanzar los mejores resultados con la experimentación, los cuales surgen a partir de los conceptos estadísticos que se pretenden reforzar.

Cada estudiante utiliza el simulador para generar los resultados experimentales de acuerdo con el plan de experimentación que haya definido. Considerando que estos valores son aleatorios, que responden a hipótesis diversas y que surgen de planes experimentales diferentes, cada estudiante tendrá resultados disímiles, lo cual permitirá que puedan interactuar entre ellos sin que exista la posibilidad de plagio y posibilitará la comparación de los resultados obtenidos a partir de las distintas estrategias seguidas por los estudiantes.

Es por ello que la evaluación no se circunscribe al resultado numérico alcanzado, sino que de forma integral se evalúa el enfoque utilizado para abordar el problema, el correcto uso del *software* estadístico para el análisis de los datos obtenidos, la interpretación idónea de los resultados y la validación de los supuestos del modelo empleado.

Código Fuente

Con el fin de dar a conocer aspectos técnicos del desarrollo del simulador, a continuación se presenta el código fuente del mismo.

Sub Nuevo()

Range("E4").Select

ActiveCell.FormulaR1C1 = "-1"

Range("D7").Select

ActiveCell.FormulaR1C1 = "0"

Range("E10").Select

```

ActiveCell.FormulaRIC1 = "0"
Range("E13").Select
ActiveCell.FormulaRIC1 = "0"
Range("E16").Select
ActiveCell.FormulaRIC1 = "0"
Range("D19").Select
ActiveCell.FormulaRIC1 = "0"
Range("H21").Select
ActiveCell.FormulaRIC1 = ""
Range("I21").Select
ActiveCell.FormulaRIC1 = ""
Range("J21").Select
ActiveCell.FormulaRIC1 = ""
Range("K21").Select
ActiveCell.FormulaRIC1 = ""
Range("L21").Select
ActiveCell.FormulaRIC1 = ""
Range("M21").Select
ActiveCell.FormulaRIC1 = ""
Range("N21").Select
ActiveCell.FormulaRIC1 = ""
Sheets("Resultados").Select
Range("A44").Select
ActiveCell.FormulaRIC1 = ""
Range("C2").Select
Sheets("Experimento").Select
ActiveSheet.Shapes("Autoforma 55").Visible = True
ActiveSheet.Shapes("Autoforma 48").Visible = False
ActiveSheet.Shapes("Autoforma 50").Visible = False
Range("O26").Select
End Sub

Sub Experimentar()
  Sheets("Resultados").Select
  V = Cells(44, 2)
  If V = 1 Then
    Application.Run "ATPVBAEN.XLA!Random",
ActiveSheet.Range("A44"), 1, 1, 2, , 0, 1
  End If
  If V = 2 Then
    Application.Run "ATPVBAEN.XLAM!Random",
ActiveSheet.Range("A44"), 1, 1, 2, , 0, 1
  End If
  If V = 3 Then
    Application.Run "ATPVBAEN.XLAM!Random",
ActiveSheet.Range("A44"), 1, 1, 2, , 0, 1
  End If
  Sheets("Experimento").Select
  Range("H25:N25").Select
  Selection.Copy
  Range("H21").Select
  Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues,
Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
  Application.CutCopyMode = False
  ActiveSheet.Shapes("Autoforma 55").Visible = False
  ActiveSheet.Shapes("Autoforma 48").Visible = True
  ActiveSheet.Shapes("Autoforma 50").Visible = True
  Range("O26").Select

```

```

End Sub

Sub Almacenar()
  Sheets("Experimento").Select
  A = Cells(21, 8)
  B = Cells(21, 9)
  C = Cells(21, 10)
  D = Cells(21, 11)
  E = Cells(21, 12)
  T = Cells(21, 13)
  Y = Cells(21, 14)
  ActiveSheet.Shapes("Autoforma 48").Visible = False
  Sheets("Resultados").Select
  For i = 43 To 3 Step -1
    Ex = Cells(i, 10)
    If Ex = 0 Then
      cc = i
    End If
  Next i
  If cc < 43 Then
    Cells(cc, 4) = A
    Cells(cc, 5) = B
    Cells(cc, 6) = C
    Cells(cc, 7) = D
    Cells(cc, 8) = E
    Cells(cc, 9) = T
    Cells(cc, 10) = Y
  End If
  Range("C2").Select
  Sheets("Experimento").Select
  MsgBox ("Usted ya ha almacenado " & cc - 2 & "
experimentos!")
End Sub

```

Instrucciones para el Uso

A continuación se presentan de forma detallada cómo ejecutar el archivo del Simulador y cada una de las tres hojas de cálculo que lo conforman.

Para iniciar el uso del Simulador se debe abrir el archivo y se deben habilitar los siguientes complementos de Excel®: “Herramientas para análisis” y “Herramientas para análisis – VBA”.

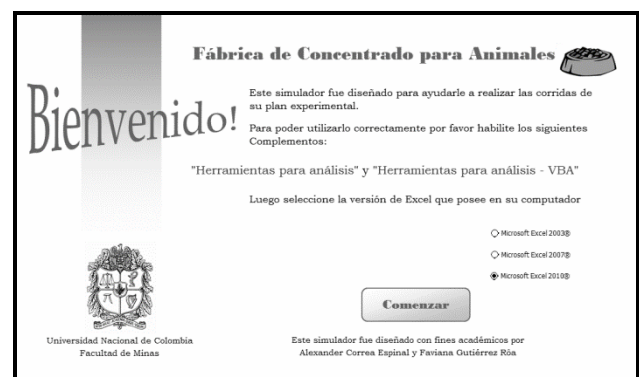


Figura 1. Hoja de cálculo Bienvenido!
Fuente: Elaboración propia

La hoja de cálculo Bienvenido! (Figura 1) permite seleccionar la versión de Excel® acorde con la que posee en su computador. El Simulador fue diseñado para operar en las siguientes versiones: *Microsoft Excel 2003*®, *Microsoft Excel 2007*® y *Microsoft Excel 2010*®. Una vez seleccionada la versión se debe presionar el botón “Comenzar”, con el fin de habilitar el Simulador para su operación.

En la hoja de cálculo Experimento (Figura 2), se presentan los factores que pueden ser manipulados en el Simulador y con la ayuda del *mouse* se ingresan sus valores, de acuerdo con el plan experimental definido por el estudiante. Luego se presiona el botón “Experimentar”.

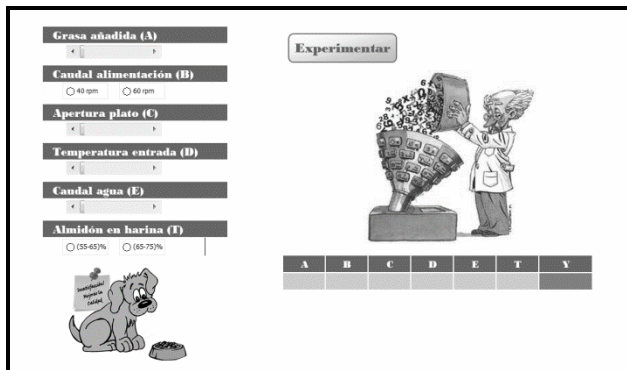


Figura 2. Hoja de cálculo Experimento
Fuente: Elaboración propia

Si el estudiante olvida incluir el valor de algún factor, no se mostrará la variable respuesta y en su lugar aparecerá el mensaje “Faltan datos”. En tal caso deberá presionar el botón “Nuevo” e ingresar nuevamente la corrida experimental completa. En la figura 3, se presenta lo descrito.

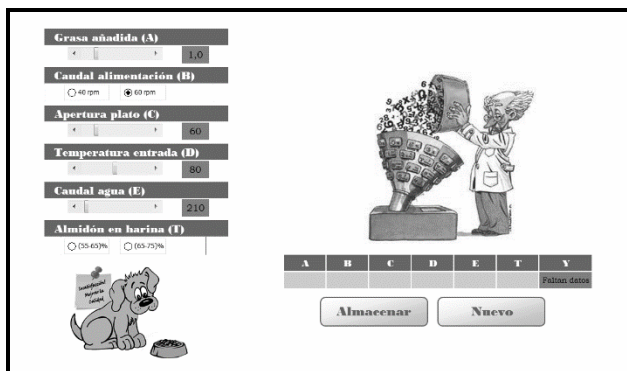


Figura 3. Errores al incluir datos en la hoja Experimento
Fuente: Elaboración propia

Si la corrida experimental se ingresó de manera completa, al presionar el botón “Experimentar” se mostrará la variable respuesta y los valores elegidos en cada uno de los factores, como se muestran en la figura 4.

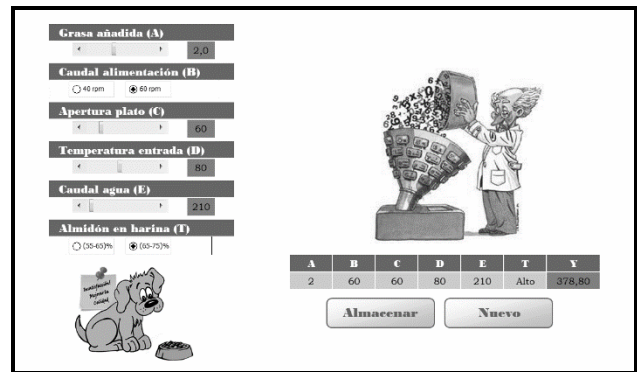


Figura 4. Ejecución de una corrida experimental
Fuente: Elaboración propia

Si el estudiante desea almacenar los resultados obtenidos, deberá presionar el botón “Almacenar”, caso contrario deberá seleccionar el botón “Nuevo”.

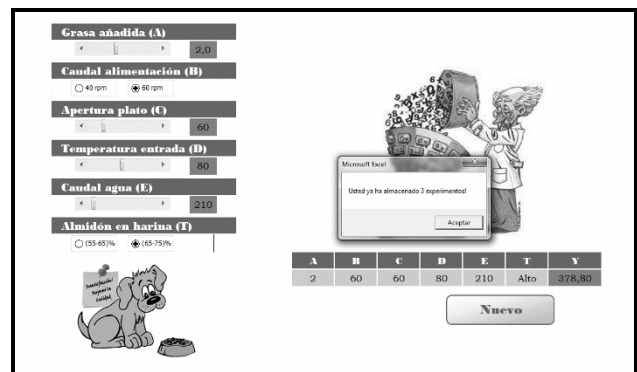


Figura 5. Mensaje de ejecución satisfactoria
Fuente: Elaboración propia

Es importante destacar que el botón “Experimentar” solo está disponible para nuevas corridas experimentales, en cumplimiento con los principios básicos de diseño de experimentos, que requiere independencia entre las corridas experimentales. En la figura 5, se observa el cuadro de dialogo cuando los factores han sido introducidos de forma completa y sin errores.

Los resultados almacenados por el estudiante se muestran en la hoja de cálculo Resultados, en el orden en que fueron capturados y están disponibles para ser seleccionados y copiados al *software* estadístico que se utilizará para su análisis, tal como se muestra en la figura 6.

EXP	A	B	C	D	E	T	Y
1	0,2	40	57	80	210	Bajo	447,303
2	2,0	50	60	80	250	Alto	352,132
3	3,0	40	60	80	210	Alto	396,393

Figura 6. Resultados almacenados en la hoja de cálculos Resultados

Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar que el Simulador no ha sido desarrollado para la ejecución de ningún análisis estadístico sobre los datos generados, pudiéndose utilizar cualquier *software* estadístico comercial para dicho fin.

3. CONCLUSIONES

El simulador presentado se convierte en una alternativa de solución pedagógica para abordar el aprendizaje de algunos modelos de diseño de experimentos, a través de la ejecución de experimentos de bajo costo y que garantizan la variabilidad del proceso en cada una de las corridas realizadas, emulando así la realidad.

Hace más de veinte años que las investigaciones enfocadas en la enseñanza de la estadística se vienen desarrollando, evidenciando que los estudiantes aprenden mejor, si están expuestos a experiencias en las cuales apliquen los conceptos inculcados en nuevas situaciones. Si ellos practican sobre situaciones familiares o problemas perfectamente definidos, como los que se encuentran en los textos de estadística, entonces eso es todo lo que son propensos a aprender.

4. REFERENCIAS

- [1] MARTIN, Michael A. "Its like... you know": The use of analogies and heuristics in teaching introductory statistical methods. *Journal of Statistics Education*. 2003, vol. 11, no. 2.
- [2] GARFIELD, Joan and Dani BEN-ZVI. How Students Learn Statistics Revisited: A Current Review of Research on Teaching and Learning Statistics. *International Statistical Review* [online]. 2007, vol. 75, no. 3, pp. 372–396 [accessed. 4. February 2014]. ISSN 03067734. Retrieved z: doi:10.1111/j.1751-5823.2007.00029.x
- [3] MILLS, Jamie D. Using Computer Simulation Methods to Teach Statistics: A Review of the Literature. *Journal of Statistics Education*. 2002, vol. 1, no. 1.
- [4] GIESBRECHT, Norman. Strategies for Developing and Delivering Effective Introductory-Level Statistics and Methodology Courses. In: *Institute of Education Sciences - ERIC*. 1996, p. 393–668.
- [5] BUCHE, Douglas D. and John A. GLOVER. Teaching Students to Review Research As an Aid for Problem Solving. *Teaching of Psychology*. 1980, vol. 7, no. 4.
- [6] ROMEU, Jorge Luis. Teaching engineering statistics with simulation: a classroom experience. *Journal of the Royal Statistical Society*. 1986, vol. 35, no. 4, pp. 441–447.
- [7] RICHARDSON, Thomas H. Reproducible Bad Data for Instruction in Statistical Methods. *Journal of Chemical Education*. 1991, vol. 68, no. 4, p. 310.
- [8] VON GLASERSFELD, Ernst. Learning as Constructive Activity. In: *Meeting of the North American Group of Psychology in Mathematics Education*. 1983, p. 41–101.
- [9] CLARK, Julie M, Joseph WIMBISH and David MATHWES. *The " Fundamental Theorem " of Statistics* □: *Classifying Student Understanding of Basic Statistical Concepts*. 2007.
- [10] KAIGH, W. D. Regression Simulation Games. In: *American Statistical Association Proceedings of the Section on Statistical Education*. 1996, p. 87–92.
- [11] FELDMAN, Larry and Fred MORGAN. The pedagogy and Probability of the Dice Game HOG. *Journal of Statistics Education*. 2003, vol. 11, no. 2.
- [12] TUFTE, Edward R. *Visual explanations: images and quantities, evidence and narrative*. B.m.: Graphics Press, 1997. ISBN 0961392126.
- [13] HUFF, Darrell. *How to Lie with Statistics*. 1954.
- [14] BEHAR, Roberto, Pere GRIMA and Lluís MARCO-ALMAGRO. Twenty-Five Analogies for Explaining Statistical Concepts. *The American Statistician* [online]. 2013, vol. 67, no. 1, pp. 44–48 [accessed. 26. January 2014]. ISSN 0003-1305. Retrieved z: doi:10.1080/00031305.2012.752408
- [15] MARASINGHE, Mervyn G, William Q MEEKER, Dianne COOK and Tae-sung SHIN. Using Graphics and Simulation to Teach Statistical Concepts. *The American Statistician*. 1996, vol. 50, no. 4, pp. 342–351.
- [16] CHANCE, Beth and Allan ROSSMAN. *Using simulation to teach and learn statistics*. 2006.
- [17] BIEHLER, Rolf. Computers in probability education. In: Kluwer ACADEMIC, ed. *Chance Encounters: Probability in Education*. Amsterdam: Springer Netherlands, 1991, p. 169–211.
- [18] JONES, Graham A., Langrall Cynthia W. and Edward S. MOONEY. Research in probability: Responding to classroom realities. In: F.K. LESTER, ed. *Second Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning*. Reston, VA:

- National Council of Teachers of Mathematics (NCTM), 2007, p. 909–956.
- [19] BEN-ZVI, Dani. Toward Understanding the Role of Technological Tools in Statistical Learning. *MATHEMATICAL THINKING AND LEARNING* [online]. 2000, vol. 2, no. 1-2, pp. 127–155. Retrieved z: doi:10.1207/S15327833MTL0202
- [20] LANE, David M. and Zhihua TANG. Effectiveness of simulation training on transfer of statistical concepts. *Journal of Educational Computing Research*. 2000, vol. 22, no. 4, pp. 383–396.
- [21] LANE, David M and S Camille PERES. *Interactive simulations in the teaching of statistics: promise and pitfalls*. 2006.
- [22] MILLS, Jamie D. Learning abstract statistics concepts using simulation. *Educational Research Quarterly*. 2004, vol. 28, no. 4, pp. 18–33.
- [23] COBB, George W and David S MOORE. Mathematics , Statistics , and Teaching. *The American Mathematical Monthly*. 1997, vol. 104, no. 9, pp. 801–823.
- [24] HESTERBERG, Tim C. Simulation and Bootstrapping for Teaching Statistics. In: *American Statistical Association Proceedings of the Section on Statistical Education*. 1998, p. 44–52.
- [25] HODGSON, Ted and Maurice BURKE. On Simulation and the Teaching of Statistics. *Teaching Statistics* [online]. 2000, vol. 22, no. 3, pp. 91–96. ISSN 0141-982X. Retrieved z: doi:10.1111/1467-9639.00033
- [26] NICKERSON, R.S. Can Technology Help Teach for Understanding? In: D.N. PERKINS, J.L. SCHWARTZ, M.M WEST and M.S. WISKE, eds. *Software Goes to School: Teaching for Understanding with New Technologies*. New York: Oxford University Press, 1995.
- [27] WILLEMAIN, Thomas R. Bootstrap on a shoestring: Resampling using spreadsheets. *The American Statistician*. 1994, vol. 48, no. 1, pp. 40–42.
- [28] GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto and Román DE LA VARA SALAZAR. *Análisis y diseño de experimentos*. México: McGraw Hill, 2008.
- [29] BOX, George E., Stuart J. HUNTER and William G. HUNTER. *Estadística para investigadores, diseño innovacion y descubrimiento*. Barcelona: Editorial Reverté S.A., 2008.
- [30] MONTGOMERY, Douglas C. *Design and analysis of experiments*. New York: Wiley, 2001.