

Análisis estadístico del factor de concentración para el Aprendizaje Activo usando *R*

EDVCATIO PHYSICORVM



ISSN 1870-9095

Rubén Sánchez Sánchez, César Mora

Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada.

Unidad Legaria del Instituto Politécnico Nacional.

Calzada Legaria 694. Colonia: Irrigación. Alcaldía: Miguel Hidalgo. C.P. 11500,

Ciudad de México, México.

E-mail: rsanchezs@ipn.mx

(Recibido el 2 de febrero de 2024, aceptado el 5 de marzo de 2024)

Resumen

Este documento contiene varias instrucciones para realizar el cálculo del factor de concentración de Lei Bao y Edward Redish, a modo de ejemplo, de una prueba hipotética de 5 preguntas que se utilizan para la evaluación de un grupo de alumnos de Física de nivel superior que hay llevado un tópico de estudio de la Física, empleando como guía didáctica los pasos del Aprendizaje Activo. Aunque el ejemplo es hipotético, con un grupo ficticio, aquí se pretende instruir al investigador en Física Educativa, para que aproveche varios recursos de software libre, y haga una evaluación estadística de sus trabajos en investigación educativa.

Palabras clave: Factor de concentración, software libre, técnicas de Aprendizaje Activo.

Abstract

This document contains several instructions for calculating the concentration factor of Lei Bao and Edward Redish, as an example, a hypothetical test of 5 questions used for the evaluation of a group of higher-level physics students who have taken a topic of study of physics, using as didactic guide the steps of active learning. Although the example is hypothetical, with a fictitious group, here we intend to instruct the researcher in Educational Physics, to take advantage of various free software resources, and make a statistical evaluation of their work in educational research.

Keywords: Concentration factor, free software, active learning techniques.

I. INTRODUCCIÓN

Hace ya varios años, en Estados Unidos, se ha implementado una técnica de estudio, que compromete al mismo estudiante en su proceso de enseñanza-aprendizaje, mejora su nivel de conocimientos en Física, y promueve su participación en las actividades didácticas en el aula, mientras adquiere nuevos conocimientos en Física. Sokoloff, Thornton y Priscilla Laws, son los autores de esta metodología didáctica, que ha llevado a obtener mejores resultados en la educación de la Física de nivel Superior, dentro de los Estados Unidos de América [1].

Lei Bao y Edward Redish, por otra parte, también han contribuido en el campo de la investigación educativa [2], mostrándonos la forma en como analizar los datos recolectados de las pruebas que los profesores le realizan a sus estudiantes cuando evalúan sus conocimientos. En particular, Lei Bao y Edward Redish, nos legaron el conocimiento del *factor de concentración*, por pregunta, de una prueba o test de conocimientos de opción múltiple. Esta es una prueba estadística de los datos que nos permite calcular, en los test de opción múltiple, cuales respuestas, son las favoritas en los estudiantes, cuando se les cuestiona acerca de un tema especial de Física.

En los siguientes párrafos mostramos el núcleo central del Aprendizaje Activo de la Física, simulamos obtener datos de un grupo que estudie la Física, seguimos los pasos metodológicos y luego los analizamos con el factor de concentración de Bao-Redish.

Aprovechamos también el uso del software libre, para capturar los datos de entrada y lo utilizamos para calcular el factor de concentración de 2 preguntas, de un test hipotético, aplicado a la clase anterior.

Utilizaremos el software estadístico *R*, para el análisis de los datos, y lo apoyaremos en su edición de código, con el uso de otra herramienta libre de programación debida a Richard Stallman [3], y conocida entre la comunidad de software libre, esta herramienta de software es conocida como Emacs [4, 5].

Esperamos que las herramientas de software y el ejemplo hipotético mostrado aquí, le sirva de guía a la comunidad de investigación en Física Educativa, para tener un reporte de factor de concentración para un test de prueba aplicado durante un trabajo de investigación educativa.

Para un mejor manejo de edición del código en *R*, es muy conveniente utilizar Emacs juntamente con un paquete conocido como ESS¹ [6], por la comunidad de Emacs. De hecho, esto será sólo un requisito preliminar, pues es necesario

¹O bien, por sus siglas en inglés *Emacs Speak Statistics*
Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 18, No. 1, March 2024

configurar Emacs para que adopte un comportamiento más cómodo, a la hora de escribir, y ejecutar comandos en R [7].

ESS es un paquete de Emacs que puede ser instalado con el manejador estándar de Emacs y posteriormente puede ser configurado de acuerdo a las necesidades del investigador educativo para tener un buen manejo de datos, y realizar investigación educativa, con soporte estadístico y cuantitativo en la investigación.

II. LA METODOLOGÍA ACTIVA

Como ya hemos mencionado en la introducción de este trabajo Sokoloff, Thornton y Priscilla Laws [8, 9], han trabajado y colaborado en el área de la enseñanza de la Física, gracias a su trabajo en torno al Aprendizaje Activo de la Física.

En su metodología original se utilizan 8 pasos esenciales para llevar a cabo lo que se conoce como Interactive Lecture Demonstrations (ILD) [10, 11] o clases demostrativas interactivas. En el centro de estos 8 pasos, está la esencia metodológica de la enseñanza activa. Para una mejor comprensión de los orígenes del Aprendizaje Activo, tendríamos que estudiar los principios básicos del aprendizaje humano, expuestos por Jean Piaget [12, 13, 14] y su estudio del desarrollo intelectual en el niño.

Básicamente en esta teoría se muestra la complejidad del funcionamiento cognitivo de los seres humanos, desde su temprana infancia. Sin embargo, la teoría de Piaget [15] se puede extrapolar a las personas adolescentes y a las maduras, pues en su teoría se trata el desarrollo cognitivo a partir del establecimiento de estructuras internas de conocimiento, que se forman tanto en el niño, como en las personas adultas.

Según Piaget [16] se necesita de estímulos externos para realizar lo que se conoce como desequilibrio cognitivo.

Es a partir de este *desequilibrio cognitivo*, que vendría una fase de *acomodamiento*, acompañado con la asimilación del niño o de la persona de un nuevo conocimiento.

En el Aprendizaje Activo se toma muy en cuenta esta fase de acomodación de las nuevas estructuras cognitivas. Por lo que se promueve que el estudiante interactúe con un experimento o con un fenómeno físico ofrecido en la clase interactiva demostrativa o ILD, para que pueda reacomodar su estructura cognitiva y pueda al fin adquirir un nuevo conocimiento, y en este caso, un conocimiento de Física.

También, el Aprendizaje Activo recoge los principios cognitivos de otro gran investigador en educación. Esta otra persona fue Lev Vygotsky [17, 18, 19, 20, 21], para quien el aprendizaje es un *fenómeno social* y sin la participación de la sociedad en el individuo el proceso de aprendizaje sería o bien imposible. O bien muy difícil de lograr.

El Aprendizaje Activo incorpora esta idea en su metodología didáctica, desde que pide que se formen pequeños equipos de trabajo durante las ILD, de tal forma que después de la realización de un pequeño experimento, los estudiantes puedan discutir entre sí. Ellos analizarán el registro de sus observaciones, y tratarán de buscar una explicación mejor, a la que en un inicio dan de manera individual, durante una fase de las *predicciones*.

Lo interesante aquí, es que es el profesor el que sugiere este tipo de actividades en equipo, y posteriormente pasa a un representante por equipo a exponer sus ideas durante la fase conocida como *síntesis*.

Es durante la síntesis que los estudiantes del grupo pueden llegar a una explicación del fenómeno Físico estudiado, que sea la más popular y la mejor para explicar lo que ocurrió, en la fase de muestra del fenómeno y que se conoce como la fase de la *observación*.

Si durante la síntesis del fenómeno físico no se llega a un acuerdo, o la mayoría tiene opiniones diferentes o simplemente no tienen una explicación del fenómeno, entonces el ciclo de Aprendizaje Activo se repite, empezando nuevamente con la fase de la *predicción*.

Aquí se les vuelve a dar un material pedagógico conocido como hoja de predicciones a cada estudiante, para que escriba en ella el comportamiento que espera que tenga el fenómeno Físico estudiado. Nuevamente se repite el experimento durante la fase de la observación, y se vuelven a formar equipos pequeños de discusión. El ciclo de Aprendizaje Activo (también conocido como ciclo PODS por sus siglas en inglés de [*P*]rediction, [*O*]bservation, [*D*]iscussion, and [*S*]yntesis), se repite, hasta que la mayoría de los estudiantes llegue a una explicación que sea congruente y que explique bien el fenómeno Físico que se ha estudiado durante la ILD. Este es el corazón de la metodología de Aprendizaje Activo, y como lo hemos comentado está de acuerdo con las teorías básicas del conocimiento humano, debidas a Jean Piaget y a Lev Vygotsky [22].

III. EL PROCESO DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS DEL GRUPO

Como ya habíamos mencionado anteriormente, en este trabajo vamos a suponer que tenemos a un grupo de nivel Superior de una carrera del área de Físico-Matemáticas y que están cursando una materia de Física, para su formación académica. El ejemplo aquí presentado, es ficticio, sin embargo nos será muy útil para ilustrar el procedimiento de Bao y Redish para calcular el *factor de concentración* de cada pregunta del test.

Suponemos que tenemos un test validado de 2 preguntas de opción múltiple, que está conforme a las recomendaciones de Haladyna [23, 24, 25]. Y que cada pregunta consta de 5 opciones probables de respuesta. También suponemos que el cuestionario tiene una sola respuesta correcta en cada pregunta. Así que la probabilidad de que un estudiante conteste bien una de las preguntas del cuestionario es de 1/5 por pregunta del test.

Como profesores de la materia de Física realizamos una prueba previa a nuestra clase de enseñanza, y en esta etapa estamos en la fase del *pretest*.

Después realizamos una o varias clases demostrativas interactivas o ILD, al grupo. Teniendo cuidado de que todos los miembros del grupo participen con sus compañeros y expresen sus dudas en el momento adecuado.

Quizá esto nos lleve una o dos semanas, por lo que se recomienda que el Aprendizaje Activo sea aplicado a un solo

tema del programa de estudios y no a todo el curso, o si se prefiere que sea unas dos o tres exposiciones por mes del Aprendizaje Activo. Esto variará de acuerdo con cada plan de estudios y a la disponibilidad de cada grupo.

Una vez recolectados los datos se procede a realizar un análisis cuantitativo de estos datos para saber cual era el estado inicial del grupo, cuales eran sus ideas previas prevalecientes, y en qué medida de acuerdo con estas evaluaciones, el grupo a tenido un cambio conceptual favorable en relación con el tema de Física que se haya escogido para investigar el nivel de aprovechamiento alcanzado con el Aprendizaje Activo.

Suponiendo que nuestro grupo tiene 6 alumnos, procedemos a recolectar una hoja de Excel por cada pregunta de la prueba (o test), es decir para este ejemplo sencillo recolectamos 2 hojas de Excel con 4 renglones de datos cada una, y un renglón adicional que servirá para etiquetar cada opción de la pregunta que analicemos. Como esto es un ejemplo, también mostraremos los pasos a seguir para la etapa del *pretest*, y el *posttest* que es similar, y aunque ideas del procedimiento se repiten, nos servirá para realizar comparaciones de eficiencia en el aprendizaje de nuestro grupo hipotético, que es lo que buscamos cuando buscamos una metodología de enseñanza que nos de resultados en el aprendizaje de los alumnos aceptables.

IV. MUESTRAS DE DATOS EN EXCEL

Como dijimos antes, aquí mostramos dos muestras de recolección de datos para el cálculo del *factor de concentración* de Bao-Redish, utilizando el lenguaje de programación R. Las muestras se recogen en hojas de cálculo Excel, como se muestran en las figuras 1, 2, 3 y 4.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	A	B	C	D	E	Eval		
2	1							
3			1					
4				1				
5	1							
6	1							
7					1			
8								

FIGURA 1. Fragmento de hoja de datos en Excel para 10 alumnos en su fase de pretest, para la pregunta P1, del test aplicado.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	A	B	C	D	E	Eval		
2		1						
3	1							
4		1						
5					1			
6			1			1		
7			1			1		

FIGURA 2. Fragmento de hoja de datos en Excel para 10 alumnos en su fase de pretest, para la pregunta P2, del test.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	A	B	C	D	E	Eval		
2	1							
3				1		1		
4	1							
5				1		1		
6		1						
7				1		1		

FIGURA 3. Hoja de datos en Excel para 6 alumnos en su fase de posttest, para la pregunta P1, del test.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	A	B	C	D	E	Eval		
2	1							
3			1			1		
4		1						
5			1			1		
6			1			1		
7			1			1		

FIGURA 4. Hoja de datos en Excel para 6 alumnos en su fase de posttest, para la pregunta P2, del test.

Las tablas muestran las opciones de cada pregunta con el nombre de la columna como A para la primera opción (A), como B para la segunda opción (B), ... como E para la quinta opción (E).

La sexta pregunta se titula Eval, y nos indica con un 1, si la opción elegida por el estudiante fue la correcta.

Las tablas tienen varios unos (1) y espacios vacíos, los espacios vacíos serán rellenados por una rutina en R con ceros (0).

V. PROGRAMA ESTADÍSTICO R

Para este ejercicio se necesitará bajar e instalar el lenguaje de programación R. El cual tiene su sitio oficial en CRAN, la dirección web actual es

<https://www.r-project.org>

El nombre del sitio web es *The R Project for Statistical Computing*, y es un sitio de software libre, donde varios desarrolladores de software contribuyen, para hacer accesible a la comunidad académica, utilerías que apoyen la investigación científica, la estadística y a varias áreas del conocimiento que dependan directa o indirectamente de cálculos matemáticos estadísticos.

Nosotros emplearemos el software para nuestra investigación educativa, y en particular par calcular el factor de concentración de nuestra prueba, en el caso de nuestro grupo hipotético experimental.

Si se tiene una MacBook o un ordenador con Linux, se recomienda utilizar un manejador de paquetes llamado

Homebrew [26]. Para instalarlo en el computador siga las instrucciones, indicadas en la página web de Homebrew:

<https://brew.sh>

Los pasos para instalar *R*, por medio de Homebrew en el ordenador, son primero, cargar una biblioteca de software con la orden *tap*, en una terminal de línea de comandos:

```
brew tap homebrew/science
```

y después instalar *R*, escribiendo en la terminal, el comando de homebrew siguiente:

```
brew install R
```

quizá este último procedimiento, sea muy cómodo para un lector con una Macintosh o con un sistema operativo Linux.

VI. INTERFACE DE EDICIÓN EMACS PARA R

Como habíamos mencionado anteriormente, podemos hacer uso de un editor de texto gratuito para poder editar con comodidad, la programación para el cálculo del factor de concentración. Para ello, aquí recomendamos editar el código *R*, en el programa Emacs [27], que escribió originalmente el fundador en América del Norte del Software Libre, Richard Stallman. Podemos consultar la página web oficial de Emacs para instalar este editor de código,

Si tenemos una Mac Mini, o un computador con Linux podemos alternativamente instalar Emacs con Homebrew, escribiendo en un terminal, la siguiente instrucción:

```
brew install emacs-mac
```

Posteriormente si queremos información concerniente a la instalación de Emacs la podemos preguntar a Homebrew con la siguiente orden de línea de comandos:

```
brew info emacs-mac
```

Homebrew nos mostrará en que directorio se instaló Emacs.

Para la siguiente sección recomendamos repasar un poco de notación para emitir comandos con secuencia de teclas en Emacs [28, 29, 30].

VII. COMPLEMENTO DE EDICIÓN PARA R

Como ya habíamos mencionado con anterioridad, para editar el código en *R* que calculará el factor de concentración, necesitamos instalar en Emacs el paquete ESS, las instrucciones para instalarlo se hallan en su sitio web oficial:

<https://ess.r-project.org>

También podemos simplemente utilizar MELPA [31], que es un repositorio de librerías o paquetes para Emacs. Siguiendo este último método, abrimos Emacs y presionamos C-x C-f, que significa presionar la tecla Control y luego la tecla *x* (sin dejar de presionar Control), liberamos ambas teclas, y luego presionamos Control y luego la tecla *f* (sin dejar de presionar Control), liberamos y navegamos hacia la carpeta

```
~/config/emacs/init.el
```

Donde la tilde representa el directorio *home* u hogar de un sistema operativo tipo Linux.

Copiamos las líneas de código que se encuentran en el sitio de MELPA [32]:

<https://melpa.org/#/getting-started>

y que son

```
(require 'package)
(add-to-list 'package-archives ('("melpa" .
"https://melpa.org/packages/") t)
(package-initialize)
```

Los comentarios empiezan con el símbolo de punto y coma y por eso no los apunté aquí. Guardamos el archivo de configuración *init.el* en Emacs.

Luego abrimos el programa de paquetes de Emacs e instalamos ESS. Es decir, presionamos

```
M-x list-packages
```

(Presionamos tecla *Alt* [que es la tecla Meta o ‘M’ según la convención estándar de Emacs] y enseguida presionamos la tecla *x* y después liberamos ambas teclas. Luego escribimos la orden “list-packages” y presionamos Enter, para ejecutarla).

Emacs nos abrirá una lista de paquetes, aquí buscamos el paquete ESS, lo señalamos, y presionamos Enter, Emacs nos preguntará si queremos instalarlo, abriendo una ventana con el nombre del paquete y un botón de instalación al lado del nombre del paquete que queremos instalar. Aquí obviamente, oprimimos el botón de instalación, e instalamos ESS.

Una alternativa al procedimiento de arriba, ya descrito, es bajar Emacs ya precompilado con ESS. Es decir, Emacs ya viene listo para ser usado con *R*. Esta opción de Emacs, está hecha por Vincent Goulet y está disponible para MacOS y Windows [33].

VIII. CONFIGURANDO ESS EN EMACS

ESS por lo regular no tiene un comportamiento agradable la primera vez que lo instalamos en Emacs, por lo que es aconsejable configurarlo primero.

Lo que aconsejamos aquí es localizar el archivo de configuración de Paul Johnson [34].

Y añadir este código en *Emacs-Lisp* [35] en nuestro archivo de configuración inicial de Emacs (usualmente se llama *init.el*), que en un sistema tipo Linux o en una Macintosh esta usualmente en el directorio de configuración de Emacs

```
~/config/emacs
```

Una vez hecho esto ya podemos escribir el código de *R* para calcular el factor de concentración, en Emacs, y ejecutar este código *R* desde Emacs.

Finalmente, y para tener una orientación más amplia sobre este tema, recomendamos que el lector consulte el video de Paul Johnson, que habla sobre este requisito [36].

IX. INSTRUCCIONES BÁSICAS DE ESS PARA CORRER LÍNEAS DE EJECUCIÓN EN R

Los dos comandos de ESS que considero son los más importantes cuando abrimos un archivo con extensión “.R” en Emacs, son

1. Como iniciar el programa *R*.
2. Como mandar una línea del archivo de entrada , digamos “file.R” al programa *R* para ejecutarlo o cargarlo poco a poco en la memoria asignada a *R*.
3. Como finalizar *R*.

El primero (1), se logra al realizar el siguiente comando de Emacs, llamándolo por su nombre:

M-x *R*

Después oprimimos Enter y *R* empieza a correr en otra ventana o en otro *frame* de Emacs. Aquí la M denota la tecla Meta, que en muchos casos sería la tecla “Alt”, es decir oprimimos *Alt*, luego oprimimos *x* y soltamos ambas teclas, luego oprimimos *R* en mayúsculas y finalmente soltamos la última tecla.



FIGURA 5. Icono de la barra de herramientas de Emacs para ESS, si oprimimos el botón ESS iniciará *R* en otro marco o *frame* de Emacs.



FIGURA 6. Icono de la barra de herramientas de Emacs para ESS, muestra una flecha apuntando hacia la derecha. Si oprimimos el botón ESS correrá la línea, del archivo fuente file.R donde este el cursor de Emacs y ejecutará la orden en otro marco o *frame* de Emacs, o en su caso si la orden tiene varias líneas de código, irá

guardando en memoria esa línea, repetimos la operación hasta que la orden o comando se complete.

Otra forma equivalente es fijarse en el menú de Emacs que ya tiene una sección para ESS y se oprime el botón gráfico que tiene una *R* mayúscula, en la figura 5 mostramos este botón.

Para lograr el segundo objetivo (2), de correr una línea de código desde el archivo fuente “file.R”, localizamos otro botón de la barra de herramientas, con la imagen de una flecha apuntando a la derecha, como lo muestra la figura 6.

Una vez que hayamos corrido todo el código del archivo fuente “file.R”, necesitaremos salir de *R*. Para lograr el objetivo (3), editamos el archivo fuente y agregamos la línea

```
➤ q()
```

que es la inicial del inglés *quit*, seguida de un par de paréntesis, y oprimimos nuevamente en la barra de herramientas el botón con la imagen de la flecha (figura 6), y finalizaremos nuestra sesión en *R*.

X. CÓDIGO EN R

A continuación mostramos el código en *R* [37, 38, 39, 40], para efectuar el cálculo del factor de concentración de Bao-Redish. Este código debe de ser escrito en un archivo con extensión “.R”, por ejemplo: *FactorDeConcentracion.R*, y abrirlo en Emacs.

Emacs nos mostrará en su menú teclas especializadas para llamar e iniciar *R*, en otra ventana o *frame* de Emacs que se abre aparte, y para correr el código línea a línea.

En el siguiente código, las líneas que empiezan con un signo #, representan el inicio de un comentario por línea. Se recomienda leer los comentarios para entender mejor el código, y alternativamente correrlo línea a línea para observar su funcionamiento. Como nota adicional, antes de correr el código es de suma importancia entender cuál es el *directorio de trabajo* en *R*. Pues es en este directorio donde *R* lee archivos de entrada y escribe archivos de salida. Por ejemplo, nuestros archivos de Excel hay que colocarlos en ese directorio, con el fin de que *R* los pueda leer, y posteriormente guardarlos en un formato interno que *R* entiende (generalmente a los archivos de entrada *R*, los convierte en una estructura de datos que se conocen como un *dataframe*).

A propósito para preguntarle a *R* cuál es el directorio de trabajo se manda la orden:

```
➤ getwd()
```

donde la flechita que apunta hacia la derecha es el *prompt* de *R*, y con el fin de fijar el directorio de trabajo se puede dar el siguiente comando

```
➤ setwd("~/Desktop")
```

Donde suponemos que trabajamos en el escritorio de una Macintosh (la tilde ~ indica el directorio hogar o *home* del usuario).

También es de mencionar que *R* carga una librería preinstalada llamada *readxl*, para que pueda leer nuestros archivos de entrada en Excel. Hay que notar que varias de las líneas de código siguiente, son para desplegar resultados parciales en *R*, y no son indispensables, sin embargo, se anotan para llevar un control de como se van realizando los cálculos poco a poco.

```
#-----inicio de código R-----

library(readxl)

# Datos del Pretest

X1 <- read_excel("~/Desktop/Pretest-P1.xlsx")
X2 <- read_excel("~/Desktop/Pretest-P2.xlsx")

# Datos del Postest

Xb1 <- read_excel("~/Desktop/Postest-P1.xlsx")
Xb2 <- read_excel("~/Desktop/Postest-P2.xlsx")

#-----fin de lectura de datos-----

Ya leímos los datos de las hojas de Excel en R, luego
corregimos los datos relleno de ceros las celdas faltantes

#-----Rellenamos con ceros las celdas faltantes-----

# Pretest llenado de ceros

X1[is.na(X1)] <- 0
X2[is.na(X2)] <- 0

# Postest llenado de ceros, en las celdas vacías

Xb1[is.na(Xb1)] <- 0
Xb2[is.na(Xb2)] <- 0

#-----

Luego, salvamos los datos en un archivo llamado
ConcenGpo.RData

#-----Salvamos datos en CocenGpo.RData -----
save(X1, X2,
      Xb1, Xb2,
      file="ConcenGpo.RData")

load("CocenGpo.RData")
load(list.files()[4])
ls()

#-----
```

Luego extraemos los datos en *data.frames* de *R*

```
#-----Extracción de datos-----
extraer <- function(x) {
  y <- data.frame(x$A,x$B,x$C,x$D,x$E)
  names(y) <- c("A","B","C","D","E")
  y
}

Y1 <- extraer(X1)
Y2 <- extraer(X2)

Yb1 <- extraer(Xb1)
Yb2 <- extraer(Xb2)

#-----

Después obtenemos sumas parciales de los datos para
calcular la frecuencia o concentración de cada opción

#-----Sumas de datos-----

Rt1 <- colSums(Y1) #Pretest
Rt2 <- colSums(Y2)

Rtb1 <- colSums(Yb1) #Postest
Rtb2 <- colSums(Yb2)

N <- 6 # estudiantes
m <- 5 # opciones por pregunta

ncuadrado <- function(x) {
  sumai <- 0
  for ( i in x ) { sumai <- sumai + i^2 }
  sumai
}

#-----

La siguiente definición de función, es para calcular el
factor de concentración de las preguntas 1 y 2, según las
fórmulas del artículo original de Bao y Redish [Bao], tanto en
el pretest (Conce1 y Conce2) como en el postest (Conceb1 y
Conceb2)

#-----Calculo del factor de concentración-----

Conc <- function(x) {
  rminus <- sqrt(ncuadrado(x))/N
  Cnon <- rminus - 1/sqrt(m)
  Concen <- sqrt(m)/(sqrt(m)-1)*Cnon
}

Conce1 <- Conc(Rt1)
Conce2 <- Conc(Rt2)

Conceb1 <- Conc(Rtb1)
Conceb2 <- Conc(Rtb2)

Sc1 <- sum(X1$Eval)/N
Sc2 <- sum(X2$Eval)/N
```

```

Scb1 <- sum(Xb1$Eval)/N
Scb2 <- sum(Xb2$Eval)/N

pregu <- c("P1", "P2")
#-----

Luego, podemos utilizar los criterios Low, Medium y High
para los factores de concentración, según los criterios del
artículo original de Lei Bao y Edward Redish.

# -----Manejo de factores o criterios-----

lab <- c("L", "M", "H")
br2 <- c(0,0.2, 0.5,1)
br <- c(0,0.4,0.7,1)

Sc <- c(Sc1,Sc2)
Conce <- c(Conce1, Conce2)

Scf <- cut(x=Sc, breaks=br, labels=lab)
Concef <- cut(x=Conce, breaks=br2, labels=lab)

Scb <- c(Scb1,Scb2)
Conceb <- c(Conceb1, Conceb2)

Scbf <- cut(x=Scb, breaks=br, labels=lab)
Concebf <- cut(x=Conceb, breaks=br2, labels=lab)

a <- pre <- paste(Scf,Concef,sep="",collapse=NULL)
b <- post <- paste(Scbf,Concebf,sep="",collapse=NULL)

#-----

Salvamos otra vez los resultados en el archivo
ConcenGpo5.RData

#-----Salvamos cálculos-----

save(X1, X2,
      Y1, Y2,
      Yb1, Yb2,
      Rt1, Rt2,
      Rtb1, Rtb2,
      Sc, Conce, Scb, Conceb, a,
      Scf, Concef, Scbf, Concebf, b,
      m,N,pregu,
      file="ConcenGpo5.RData")

load("ConcenGpo5.RData")
load(list.files()[4])
ls()

```

```

#-----
Preparamos unas tablas internas de datos

# -----Tablas internas-----
#
options(digits=3)

ddata <- data.frame(pregu,Sc,Conce,a)

Scm <- mean(Sc)
Scm
Concem <- mean(Conce)
Concem

Criteriom <- "LL"
ddatam <- data.frame(round(Scm,3), round(Concem,3),
Criteriom)
ddatam

write.table(ddatam,
            file="Concentración media para el grupo 5 en su pre-
test.csv",
            quote=FALSE, sep="," , row.names=FALSE,
            col.names=c("Score medio", "Concentración media",
"Criterio"))

Scbm <- mean(Scb)
Scbm
Concebm <- mean(Conceb)
Concebm

ddatab <- data.frame(pregu,Scb,Conceb,b)
#-----

Escribimos los criterios para la zona bidimensional de la
gráfica del factor de concentración vs. puntuación de los
estudiantes.

#-----Zonas de criterio-----

Criteriobm <- "MM"
ddatabm <- data.frame(round(Scbm,3), round(Concebm,3),
Criteriobm)
ddatabm

write.table(ddatabm,
            file="Concentración media para el grupo 5IM18 en su
post-test.csv",
            quote=FALSE, sep="," , row.names=FALSE,
            col.names=c("Score medio", "Concentración media",
"Criterio"))

Scbm <- mean(Scb)
Scbm
Concebm <- mean(Conceb)
Concebm

```

```
ddatab <- data.frame(pregu,Scb,Conceb,b)
```

```
Criteriaobm <- "MM"  
ddatabm <- data.frame(round(Scbm,3), round(Conceb,3),  
Criteriaobm)  
ddatabm
```

```
write.table(ddatabm,  
  file="Concentración media para el grupo 5 en su  
  postest.csv",  
  quote=FALSE, sep=",", row.names=FALSE,  
  col.names=c("Score medio", "Concentración media",  
  "Criterio"))
```

```
#-----
```

Escribimos la definición de las parábolas límite

```
# -----Parábolas límites-----
```

```
Cmin <- function (S) {  
  sqrt(m)/(sqrt(m)-1)*(sqrt(4*(1-S)^2/16+S^2)-1/sqrt(m))  
}
```

```
Cmax <- function (S) {  
  sqrt(m)/(sqrt(m)-1)*(sqrt((1-S)^2+S^2)-1/sqrt(m))  
}
```

```
#-----
```

Se realiza una secuencia de coordenadas para dibujar la Gráfica de los puntos del factor de concentración de las preguntas del test

```
#-----Secuencia de coordenadas-----
```

```
xvar <- seq(0,1,0.01)  
xvar  
yvar <- Cmin(xvar)  
yvar  
yvar2 <- Cmax(xvar)  
yvar2
```

```
# Puntos
```

```
# Puntos medios  
#
```

```
Scm <- mean(Sc)  
Scm  
Concem <- mean(Conce)  
Concem
```

```
Scbm <- mean(Scb)  
Scbm  
Conceb,3 <- mean(Conceb)  
Conceb,3
```

```
#-----fin de código preliminar a la gráfica-----
```

Después de este código preliminar que contiene los cálculos esenciales del factor de concentración, procedemos a dibujar el diagrama del factor de concentración para este grupo experimental ficticio que hemos llamado Grupo 5.

```
# -----Gráfica del factor de concentración-----  
# -----para el Grupo 5-----  
#-----Primera gráfica sin regiones indicadas -----
```

```
png("ConcenGpo5.png")
```

```
plot(xvar,yvar, type="l", col="blue",  
  main="Factor de Concentración\n para el grupo 5",  
  xlab="Score (S)", ylab="Concentración (C)")
```

```
lines(xvar,yvar2, type="l", col="green")
```

```
points(Sc,Conce,pch=1, col="red")
```

```
points(Scm,Concem,pch=16, col="red")
```

```
points(Scb,Conceb,pch=6, col="lightblue")
```

```
points(Scbm,Conceb,3,pch=25, col="lightblue",  
  bg="lightblue")
```

```
arrows(Scm,Concem,Scbm,Conceb,3,  
  length=0.15, code=2, angle=15, lwd=0.4)
```

```
abline(v=c(0.4,0.7), h=c(0.2,0.5), lty="dotted", col="orange")
```

```
text(x=c(0.2,0.5,0.9), y=rep(0.6,3),  
  labels=c("LH","MH","HH"))
```

```
text(x=c(0.2,0.5), y=rep(0.35,2), labels=c("LM","MM"))
```

```
text(x=0.009,y=0.13,labels="LL")
```

```
legend("bottomright", pch=c(1,6,16,25),  
  legend=c("pre-test","post-test",  
  "pre-test medio", "post-test medio"),  
  col=c("red", "lightblue", "red", "lightblue"),  
  pt.bg=c("red", "lightblue", "red", "lightblue"),  
  text.width=0.313,  
  bty="n")
```

```
dev.off() #Cerrar y guardar la gráfica
```

```
#-----fin de gráfica-----
```

El resultado, de este dibujo para un test de dos preguntas, se muestra en la figura 7, la flecha indica la mejoría de los 6 estudiantes del Grupo 5, tanto en su Score, como en el grado en que se concentran (factor de concentración) las respuestas de los alumnos, alrededor del inciso correcto.

Hay dos círculos rojos huecos, que indican como responde los alumnos a cada pregunta del test o prueba, antes de recibir la instrucción usando el Aprendizaje Activo. Esto es, se muestra la posición de cada pregunta en la fase del *pretest*.

El círculo rojo relleno, es el promedio de los otros dos círculos sin rellenar, para el *pretest*.

También hay dos triángulos azul claro, que denotan la posición que tienen las 2 preguntas del test cuando los alumnos las contestan después de recibir la instrucción empleando el Aprendizaje Activo. Esto es son las dos preguntas del test en la fase del *postest*.

El triángulo azul clarito relleno, es el promedio de los otros dos triángulos sin rellenar, para el *postest*.

Ahora repetimos esta misma gráfica, pero añadiendo las zonas LH, MH, HH, LM, MM, LL, donde las primeras tres denotan un factor de concentración alto (High [H], segunda letra), con Scores (primera letra) bajo (Low, [L]), medio (Medium, [M]), y alto (High, [H]), las demás regiones se explican de manera similar.

Por ejemplo, la región LM denota un Score o calificación baja (primera letra, Low [L]), y un factor de concentración medio (segunda letra, Medium [M]).

```
points(Scbm,Conceb, pch=25, col="lightblue",
bg="lightblue")
arrows(Scm,Concem,Scbm,Conceb,
length=0.15, code=2, angle=15, lwd=0.4)
lines(xvar,yvar2, type="l", col="green")
abline(v=c(0.4,0.7),h=c(0.2,0.5), lty="dotted",
col="orange")
text(x=c(0.2,0.5,0.9), y=rep(0.6,3),
labels=c("LH","MH","HH"))
text(x=c(0.2,0.5), y=rep(0.35,2), labels=c("LM","MM"))
text(x=0.2,y=0.13,labels="LL")
dev.off() #Cerrar y guardar la gráfica
```

#-----fin de gráfica-----

El dibujo de la gráfica resultante del código anterior se muestra en la figura 8, donde ya se indican las regiones LH, MH, HH, LM, MM y LL, del análisis del factor de concentración.

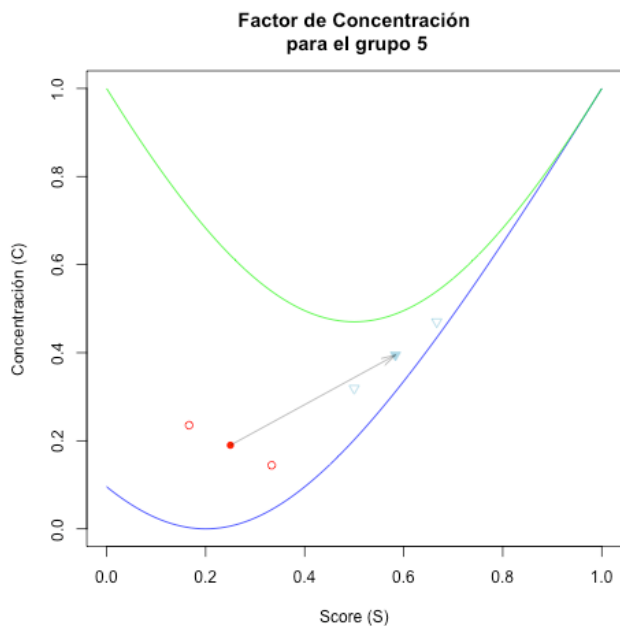


FIGURA 7. Gráfica en formato *png* para los 6 alumnos del grupo experimental 5, en sus fases de pretest y postest, para las 2 preguntas P1 y P2 del test de evaluación aplicado.

#-----Segunda gráfica con regiones indicadas-----

```
png("ConcenGpo5-2.png")
plot(xvar,yvar, type="l", col="blue",
main="Factor de Concentración\n para el grupo 5",
xlab="Score (S)", ylab="Concentración (C)")
lines(xvar,yvar2, type="l", col="green")
points(Sc,Conce,pch=1, col="red")
points(Scm,Concem,pch=16, col="red")
```

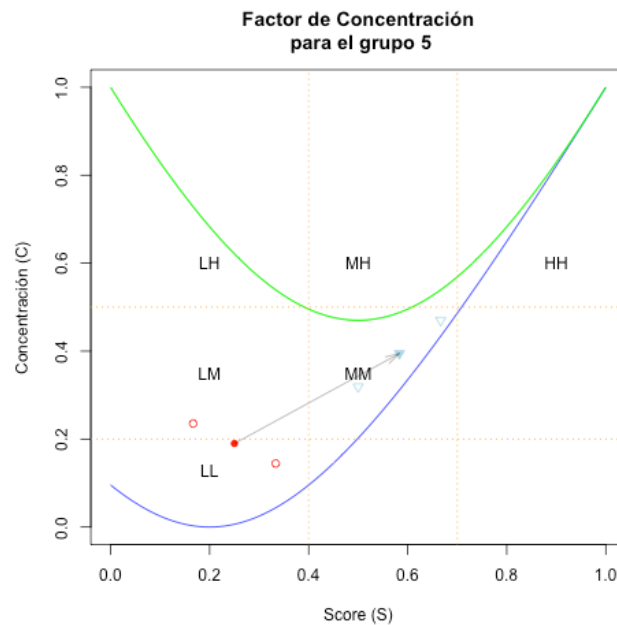


FIGURA 8. Gráfica para los 6 alumnos del grupo experimental 5, en su fases de pretest y postest, para las 2 preguntas P1 y P2 del test de evaluación aplicado. Se muestran las regiones del análisis de concentración. Y las parábolas que delimitan el análisis.

Según nuestro sencillo ejemplo, el grupo 5 mejoró pasando de la región LL, de bajo Score (L) y baja concentración (L), a la región MM, de medio Score (M) y media concentración (M).

Además de estas dos gráficas podemos trazar una tercer gráfica, que nos ilustra otras tres regiones que hay que considerar en el análisis del factor de concentración. A esta la llamaremos la gráfica genérica.

La gráfica genérica muestra las zonas que hay que considerar en el cálculo del factor de concentración. Las órdenes que empiezan con *text* son para añadir texto a la gráfica en un lugar específico de ella. Los comandos *lines* son para agregar líneas.

Esta gráfica genérica se muestra en la figura 9. Nos sirve para ubicar las diversas zonas rectangulares LH, MH, HH, LM, MM, y LL del análisis del factor de concentración.

También nos es de utilidad identificar tres zonas en el análisis. La región debajo de la curva azul es una región límite, los puntos del análisis deben de ubicarse arriba de esta curva. La región arriba de la curva parabólica en verde también es una zona, que no deben de alcanzar los puntos graficados.

La región válida donde deben de ubicarse los puntos del análisis, esta entre la curva parabólica en verde y la curva parabólica en azul.

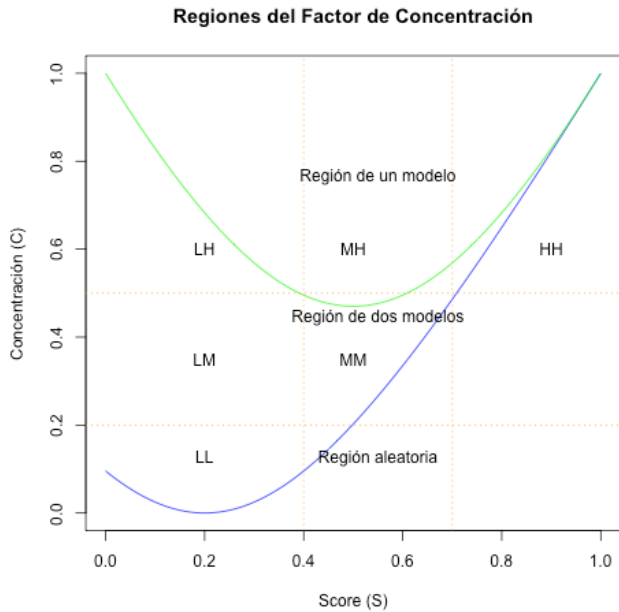


FIGURA 9. Gráfica para mostrar las regiones del análisis del factor de concentración LH, MH, HH, LM, MM, y LL. Y las 2 parábolas que delimitan el análisis.

A continuación, mostramos el código para generar una gráfica genérica, donde el primer comando *png* abre la gráfica usando un *drive* para obtenerla en un formato *png*. El último comando *dev.off()*, sirve para cerrar la gráfica y para salvar los cambios en ella. Una vez cerrada contaremos con el archivo gráfico en formato *png*.

```
#----- Gráfica genérica-----
#
#
png("GrafGenerica.png")
```

```
plot(xvar,yvar, type="l", col="blue",
      main="Regiones del Factor de Concentración",
      xlab="Score (S)", ylab="Concentración (C)")

lines(xvar,yvar2, type="l", col="green")

abline(v=c(0.4,0.7), h=c(0.2,0.5), lty="dotted", col="orange")

text(x=c(0.2,0.5,0.9), y=rep(0.6,3),
      labels=c("LH","MH","HH"))

text(x=c(0.2,0.5), y=rep(0.35,2), labels=c("LM","MM"))

text(x=0.2,y=0.13,labels="LL")

text(x=0.55, y=0.8, "Región de un modelo", pos=1)

text(x=0.55, y=0.48, "Región de dos modelos", pos=1)

text(x=0.55, y=0.16, "Región aleatoria", pos=1)

dev.off()

#-----fin de gráfica genérica-----
```

La figura 7, nos muestra la gráfica genérica que es un mapa que nos muestra las diversas zonas del análisis del factor de concentración. Estas hay que tomarlas en cuenta, a la hora de interpretar nuestros resultados.

Posteriormente, nos preparamos para salvar los resultados en formato de tabla CSV (Comma Separated Values). Formato que posteriormente podemos abrir con el programa Excel, y nos muestra de forma clara los resultados numéricos necesarios para dibujar las gráficas.

```
# -----Escritura de tablas en formato CSV-----

# Escribe una tabla CSV para el pretest

write.table(ddata, file="Concentración para el grupo 5 en su
pretest.csv",
            quote =FALSE, sep=",", row.names=FALSE,
            col.names=c("Pregunta", "Escore", "Concentración",
"Criterio"))

# Escribe la tabla en formato CSV para el postest

write.table(ddatab, file="Concentración para el grupo 5 en su
postest.csv",
            quote =FALSE, sep=",", row.names=FALSE,
            col.names=c("Pregunta", "Escore", "Concentración",
"Criterio"))

#-----fin de código R-----
```

Este último fragmento de código es para guardar los resultados numéricos del análisis del factor de concentración. Se escriben dos archivos en el directorio de trabajo: el archivo "Concentración para el grupo 5 en su pretest.csv", y el archivo "Concentración para el grupo 5 en su postest.csv".

Al final de la sesión finalizamos el programa con la sencilla orden

➤ q()

Que finaliza la corrida de R, y con esto . . . ya hemos concluido nuestro ejemplo de análisis del factor de concentración de Bao y Redish, utilizando el software R.

```
#-----Parar la corrida-----
# Finalmente paramos la corrida y cerramos la sesión de R

q() # Finalizar la sesión y salir de R

#-----fin de la corrida en R-----
```

Si abrimos uno de los archivos CSV con un editor de texto veremos que hay dos líneas de palabras y números separados por comas, la primer línea es el *header* del CSV, o el encabezado de la tabla de valores separados por coma e indica que tipo de información hay en cada columna, y el segundo y tercer renglón representan los resultados del análisis, para las preguntas 1 y 2 (P1 y P2).

Por ejemplo, el primer archivo tendrá el siguiente texto, (corresponde a los resultados del pretest):

```
Pregunta,Escore,Concentración,Criterio
P1,0.166666667,0.23541945,LM
P2,0.333333333,0.14441867,LL
```

El segundo archivo CSV tendrá este texto, (que corresponde a los resultados del grupo 5 en el postest):

```
Pregunta,Escore,Concentración,Criterio
P1,0.5,0.31910330592155,MM
P2,0.666666666666667,0.470151189629284,MM
```

Esto es simplemente texto, arreglado por renglones, y cada entrada está separada por una coma, mientras los renglones se separan por un comando de nueva línea.

Sin embargo, los mismos archivos se pueden abrir con el programa de Microsoft: Excel, y se verán como tablas arregladas con sus respectivas celdas ordenadas en columnas y celdas de una hoja de cálculo.

La figura 10, muestra una visualización en Excel del archivo del pretest: "Concentración para el grupo 5 en su pretest.csv"

	A	B	C	D
1	Pregunta	Escore	Concentración	Criterio
2	P1	0.16666667	0.23541945	LM
3	P2	0.33333333	0.14441868	LL

FIGURA 10. Resultados del análisis de concentración para las preguntas P1 y P2 en el pretest.

En la figura 11, se nos muestra una visualización de los resultados hallados por R, para el grupo 5 experimental, en su fase del postest y en forma ordenada se pueden apreciar el Escore y el factor de concentración, para cada pregunta del test (para P1 y P2).

	A	B	C	D
1	Pregunta	Escore	Concentración	Criterio
2	P1	0.5	0.31910331	MM
3	P2	0.66666667	0.47015119	MM

FIGURA 11. Resultados del análisis de concentración para las preguntas P1 y P2 en el postest.

Una vez escrito este archivo, lo podemos ir corriendo (o ejecutando) línea a línea, para ver cómo va procesando la información guardada en los archivos en Excel. Finalmente obtendremos las gráficas del factor de concentración para nuestros datos, además de tablas en formato de valores separados por comas o formato CVS, que puede ser re-importado en Excel, para armar un reporte con el análisis del factor de concentración por pregunta de Bao-Redish.

Para una comprensión e interpretación de los resultados obtenidos recomendamos leer el artículo original que escribieron Lei Bao y Edward Redish.

XI. CONCLUSIONES

Hemos mostrado como podemos obtener el factor de concentración por pregunta, de un test de opción múltiple, de Bao-Redish utilizando software libre. Esperamos que este ejemplo sea de utilidad para el investigador en educación, que desee calcular estos factores de concentración, para después de una correcta interpretación de sus resultados, pueda argumentar si en su estudio de caso la metodología que este bajo prueba ha tenido buenos resultados en su grupo experimental.

En este caso hipotético hemos sugerido emplear el Aprendizaje Activo de la Física, que ha sido empleada y utilizada con muy buenos resultados en la Unión Americana, en Estados Unidos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo recibido por el CONAHCYT. Así también, por el apoyo recibido por los proyectos de investigación SIP 20242173 *La enseñanza de la Física utilizando el Aprendizaje Activo*, y SIP 20242422 *Análisis de registros semióticos triádicos para la enseñanza de los conceptos de cinemática y su representación gráfica*, del Instituto Politécnico Nacional.

REFERENCIAS

- [1] Sokoloff, D. R., Thornton, R. K., Laws, P. W., *RealTime Physics: Active Learning Laboratories, Module 1: Mechanics* (Wiley, 3rd edition, Nueva Jersey, USA, 2011).
- [2] Bao, L., Redish, E., *Concentration analysis: A quantitative assessment of student states*, *Am. J. Phys.* **69**, S45-S43 (2001).
- [3] Stallman, R., Richard Stallman's Personal Site, <<https://www.stallman.org/>>, consultado el 10 de enero de 2024.
- [4] The GNU community official web page for the Emacs software, GNU Emacs, Download and Install, <<https://www.gnu.org/software/emacs/download.html>>, consultada el 11 de enero de 2024.
- [5] Stallman, R. M., GNU Emacs 24.5 Reference Manual (Samurai Media Limited, 1ra edición, Inglaterra, 2015).
- [6] Página web del software ESS, <<https://ess.r-project.org/>>, consultada el 13 de enero de 2024.
- [7] Página oficial de R, R: The R Project for Statistical Computing, <<https://www.r-project.org/>>, consultada el 11 de enero de 2024.
- [8] Laws, P. W., *Workshop Physics Activity Guide, Module 2: Mechanics II* (Wiley, 2da edición, Nueva Jersey, USA, 2004).
- [9] Sokoloff, D. R., Laws, P. W., *RealTime Physics: Active Learning Laboratories, Module 3: Electricity and Magnetism* (Wiley, 3ra edición, Nueva Jersey, USA, 2012).
- [10] Sokoloff, D. R., *RealTime Physics: Active Learning Laboratories, Module 4: Light and Optics* (3ra edición, Nueva Jersey, USA, 2012).
- [11] Laws, P. W., *Workshop Physics Activity Guide: The Core Volume with Module 1: Mechanics I: Kinematics and Newtonian Dynamics (Units 1-7)* (John Wiley & Sons Inc., Nueva Jersey, USA, 1996).
- [12] Piaget, J., Inhelder, B., *The Psychology of the Child* (Basic Books, 2da edición, New York, USA, 1972).
- [13] Singer, D. G., Revenson, T. A., *A Piaget Primer: How a Child Thinks; Revised Edition* (Penguin Publishing Group, Posterior edición, New York, USA, 1996).
- [14] Piaget, J., *The Moral Judgment of the Child* (Free Press, USA, 1997).
- [15] Piaget, J., Editores: Grubner, H. E., Vonèche, J. J., *The Essential Piaget* (Basic Books, 1ra edición, New York, USA, 1977).
- [16] Piaget, J., *La formación del símbolo en el niño* (Fondo de Cultura Económica, edición estándar, México, 2023).

- [17] Vygotsky, L. S., Editora: del Olmo, C., *La imaginación y el arte en la infancia* (Ediciones Akal, Edición estándar, España, 2022).
- [18] Vygotsky, L. S., *Pensamiento y Lenguaje* (Booket Paidós, 1ra edición, México, 2013).
- [19] Vygotsky, L. S., *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores* (Espasa Calpe, Colección Austral, Barcelona, España, 2013).
- [20] Wertsch, J. V., *Vygotsky and the Social Formation of Mind* (Harvard University Press, edición revisada, Harvard, USA, 1988).
- [21] Barrs, M., *Vygotsky the Teacher: A Companion to his Psychology for Teachers and Other Practitioners* (Routledge, Oxford Shire, Inglaterra, 2021).
- [22] Mooney, C. G., *Theories of Childhood, Second Edition: An Introduction to Dewey, Montessori, Erikson, Piaget & Vygotsky* (RedLeaf Press, 2da edición, Sydney, Australia, 2013).
- [23] Haladyna, T. M., Haladyna, R., Soto, C. M., *Preparación de preguntas de opciones múltiples para medir el aprendizaje de los estudiantes*, OEI-Revista Iberoamericana de educación, (publicación en línea ISSN 1681-5653) <<https://rieoei.org/historico/deloslectores/267Haladyna.PDF>>, consultada el 10 de enero de 2024.
- [24] Haladyna, T. M., Downing, S. M. (1989), *Multiple-Choice item-writing Guidelines/Rules/Suggestions/Advice as derived from 46 authoritative textbooks*, una publicación de Nova Southeastern University, (publicación en línea), <https://www.nova.edu/hpded/ctl/forms/multiple_choice.pdf>, consultada el 10 de enero de 2024.
- [25] Haladyna, T. M., Downing, S. M., *A Taxonomy of Multiple-Choice Item-Writing Rules*, Taylor & Francis on line (2009), <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s15324818ame0201_3>, consultada el 10 de enero de 2024.
- [26] Official site for the Homebrew software project, The Missing Package Manager for macOS (or Linux), <<https://brew.sh/>>, consultada el 12 de enero de 2024.
- [27] Hahn, H., *Harley Hahn's Emacs Field Guide* (Apress, 1ra edición, New York, USA, 2016).
- [28] Boop, I., *Emacs Cheat Sheet and Notebook: An at Glance Emacs Cheat Sheet and Notebook, 5x8 College Ruled* (Distribuido por Amazon, USA, 2023).
- [29] AWS guide, Referencia de combinaciones de teclas de Emacs en Windows/Linux para AWS Cloud9 IDE <<https://docs.aws.amazon.com/es-es/cloud9/latest/user-guide/keybindings-emacs-windows-linux.html>>, consultado el 8 de enero de 2024.
- [30] Davidochobits, ochobitshacenunbyte, Free Software, GNU y Linux, Una guía de referencia para Emacs <<https://www.ochobitshacenunbyte.com/2019/10/29/una-guia-de-referencia-para-emacs/>>, consultado el 9 de enero de 2024.
- [31] Página oficial de MELPA, (Sistema de paquetes para Emacs), <<https://melpa.org/#/>>, consultada el 14 de enero de 2024.

[MELPA-Inst]

- [32] Página oficial para instalar el sistema de librerías MELPA en Emacs, <<https://melpa.org/#/getting-started>>, consultada el 14 de enero de 2024.
- [33] Goulet, V., Emacs Modified (versión de Emacs ya preconfigurado para usarlo con LaTeX o R, es decir, esta precompilado con AUCTeX y con ESS), <<https://emacs-modified.gitlab.io>>, consultado el 12 de enero de 2024.
- [34] Johnson, P., Homepage of Paul Johnson (sitio web para bajar código de configuración para ESS en Emacs-Lisp) <https://pj.freefaculty.org/Software/favoriteEmacsFiles/init.el>, consultado el 15 de enero de 2024.
- [35] Chassell, R. J., *Emacs Lisp – An Introduction* (Samurai Media Limited, 1ra edición, Inglaterra, 2015).
- [36] Johnson, P., video youtube, StartR 02-Editores para R en Windows: Emacs (ESS), RStudio, Notepad++, <<https://www.youtube.com/watch?v=INIJFEpdytc>>, consultado el 20 de enero de 2024.
- [37] Wickham, H., Golemund, G., *R for Data Science* (O'Reilly Media, 2da edición, California, USA, 2023).
- [38] Davies, T. M., *Book of R* (No Starch Press, 1ra edición, San Francisco, California, USA, 2016).
- [39] Farrelly, C. M., Gaba, Y. U., *The Shape of Data, Geometry-Based Machine Learning and Data Analysis in R* (No Starch Press, 1ra edición, San Francisco, California, USA, 2023).
- [40] Long, J. D., Teetor, P., *R Cookbook: Proven Recipes for Data Analysis, Statistics, and Graphics* (O'Reilly Media, 2da edición, California, USA, 2019).