



## La enseñanza del equilibrio térmico a nivel Medio Superior con uso de las TIC

Rubén Sánchez Sánchez,<sup>a</sup> César Mora,<sup>b</sup> Diego Fernando Becerra Rodríguez<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Legaria, Legaria #694. Col. Irrigación, Del. Miguel Hidalgo, C.P. 1500, México, D.F.

Tel. (52)555729600067737

<sup>b</sup>Colegio Mount Vernon, Calle 221 #52-03, Colombia, Bogotá.

### ARTICLE INFO

**Received:** 11 Jan. 2014

**Accepted:** 30 Feb. 2014

**Keywords:**

Enseñanza de la termodinámica.  
Educación con uso de las TIC.  
Metodologías de la enseñanza de la Física

**E-mail:**

rbnsnchz@yahoo.com.mx  
cmoral36@hotmail.com  
becerrodd@hotmail.com

ISSN 2007-9842

© 2014 Institute of Science Education.  
All rights reserved

### ABSTRACT

In this paper the alternative use of ICT in teaching zeroth law of thermodynamics for high school students level of "College of St. Elizabeth of Hungary" located in Colombia, Bogotá school is exposed. The teacher makes use of various technologies of information and communication as Wiimote is the use of a wireless keyboard and flash animations, as well as several programs to simulate the thermal equilibrium between various substances. The use of these technologies stimulates learning of thermal equilibrium in the students and allows them to test their knowledge. In addition to providing resources on economic cost to the school. Professor Diego Fernando Becerra Rodriguez has designed a didactic methodology based on the cycle PODS been used successfully with several education researchers such as David R. Sokoloff, Ronald K. Thornton and Priscilla Laws in United States. Thus, this methodology is based on the learning cycle PODS and implements and integrates the use of ICT for effective learning of physical concepts. On your way Professor Diego sees several issues related to the thermal balance of substances such as: "Heat and temperature", "heat capacity" and "specific heat" and "heat balance calculations of two substances," plus his own "thermal equilibrium." Thus, we expect that this methodology and these technological tools are useful to schools in low income, who can not afford expensive laboratory equipment..

En el presente trabajo se expone el uso alternativo de las TIC en la enseñanza de la ley cero de la termodinámica para los alumnos de nivel preparatoria de la escuela "Colegio de Santa Isabel de Hungría" ubicada en Colombia, Bogotá. El profesor hace uso de varias tecnologías de la información y la comunicación como es el uso del Wiimote, un tablero inalámbrico y animaciones flash, además de varios programas para simular el equilibrio térmico entre varias sustancias. El empleo de estas tecnologías estimula el aprendizaje del equilibrio térmico en los alumnos y permite que ellos comprueben sus conocimientos. Además de proporcionar recursos de bajo costo económico para la institución educativa. El profesor Diego Fernando Becerra Rodríguez ha diseñado una metodología didáctica basada en el ciclo PODS que han empleado con éxito varios investigadores en educación como son David R. Sokoloff, Ronald K. Thornton y Priscilla Laws de los Estados Unidos. Así, esta metodología se fundamenta en el ciclo de aprendizaje PODS e implementa e integra el uso de las TIC para una forma efectiva de aprendizaje de conceptos físicos. En su recorrido el profesor Diego ve varios temas relacionados al equilibrio térmico de las sustancias como son: "Calor y temperatura", "capacidad calorífica" y "calor específico", y "cálculo del balance térmico de dos sustancias", además del propio "equilibrio térmico". Así, esperamos que esta metodología y estas herramientas tecnológicas sean de utilidad a las escuelas de bajos recursos económicos, que no puedan adquirir equipo de laboratorio costoso.

## I. INTRODUCCIÓN

Dentro de la labor de la enseñanza de las ciencias, y en particular de la enseñanza de la ley del equilibrio térmico de la termodinámica a nivel Medio Superior, surge la necesidad de impartir la materia, de tal forma que se facilite el proceso de enseñanza aprendizaje a los estudiantes. Existen varias aproximaciones para tratar de resolver estos problemas de enseñanza, entre los cuales figuran las metodologías basadas en ciclos de aprendizaje llevando pasos que los estudiantes deben de seguir para intentar alcanzar un mejor aprovechamiento de los conceptos vistos en clase. Por ejemplo, en este trabajo, utilizamos el conocido ciclo PODS de enseñanza, que ha sido utilizado en la Unión Americana, por investigadores como Sokoloff, Thorton y Piscilla Laws (2004).

No sólo, acudimos aquí a esta base metodológica; sino, que proponemos utilizar varias TIC para hacer del interés, la materia de la termodinámica, a los estudiantes. El uso de herramientas como el wiimoto, un apuntador láser y varias animaciones flash, entre otros aditamentos de la tecnología moderna, hacen de la clase Física, un tema y un objeto de estudio más interesante para las personas que cursan una materia de Física de nivel Medio Superior, como apoyo en sus futuras carreras de Ingeniería y Tecnología. Aquí vemos el resultado de aplicar esta aproximación didáctica para los estudiantes del Colegio de Santa Isabel de Hungría, ubicado en la ciudad de Bogotá, Colombia.

El ciclo PODS consiste en hacer que los estudiantes interactúen con el sistema físico que tratan de comprender, involucrando experimentos donde los fenómenos físicos toman parte activa en el desarrollo de la adquisición de los conocimientos de los estudiantes. Es con esto, y mediante la observación de estos fenómenos, que el estudiante aprende las leyes de la Física. Los pasos del ciclo PODS (Sokoloff et. al., 2004) son cuatro como sus siglas lo indican, y consiste en cuatro actividades que el estudiante de Física debe seguir, estas son la “Predicción”, la “Observación”, la “Discusión” y finalmente la “Síntesis”. Para llevar a cabo estos pasos los estudiantes se organizan en pequeños grupos de aproximadamente tres o cuatro integrantes. En la fase de la predicción, el profesor le pide al estudiante, que “prediga” antes de la realización del experimento, es decir, le pide que escriba en una hoja de papel, lo que él piensa que va a suceder. Una vez que se recolectan las predicciones de cada equipo de trabajo, se procede a realizar el experimento, para ver como se comporta el fenómeno físico bajo estudio, esta es la fase de la “observación” del ciclo PODS. Una vez, realizada la “observación” e independientemente de si hubo o no, discrepancias entre lo que el grupo de estudiantes predijo y lo sucedido en el experimento, se procede a “discutir” lo que ha sucedido en el experimento, para que cada equipo de estudiantes pueda llegar a un acuerdo, o explicación del fenómeno observado. Finalmente, y para perfeccionar el conocimiento, se debe de llegar a una “síntesis” de los resultados observados, ya entre los diferentes equipos de trabajo y con la participación también del profesor.

Esta forma de actividad estudiantil, se combina con el uso de herramientas tecnológicas, para la exposición de los temas que utiliza el profesor. Como el uso de apuntadores activados con el wiimoto, y tableros electrónicos. También se usan simulaciones en Flash junto con programas diseñados para reproducir los resultados de medición de temperatura, que los experimentos de equilibrio térmico reales, arrojarían. Esto evita el uso de equipo de laboratorio costoso, y facilita la fase de “observación” del ciclo PODS convirtiéndola en una fase entretenida, interesante y segura para los estudiantes.

## II. PASOS DE LA METODOLOGÍA DIDÁCTICA

Básicamente, en su trabajo de tesis, el profesor Diego Fernando, propone las siguientes actividades para llevar a cabo con los estudiantes. Estos pasos, inspirados en los ocho pasos del ciclo didáctico seguido por Sokoloff, Thorton y Laws (2004) consiste en lo siguiente:

1) Se efectúan preguntas previas, para que los equipos de estudiantes, trabajen en ellas. Esto es, durante la etapa previa a la observación fenomenológica. Y al empleo de las herramientas que provee la tecnología empleada. Esto se refiere a la etapa del empleo de un test de evaluación, conocido como el *pretest*.

2) Se utilizan herramientas tecnológicas como el uso de un tablero electrónico, y se ejecuta un software de simulación de un paquete conocido como “Laboratorio virtual”. Así se efectúa los resultados esperados o “predicciones” de los estudiantes, con los resultados del experimento (o simulación).

3) Se les provee con preguntas de un test en una fase conocida de evaluación de conocimientos adquiridos conocida como *postest*.

4) Siguiendo la guía de los ocho pasos de Sokoloff et. al. (2004), se realizan reflexiones acerca de las observaciones obtenidas en el paso anterior, y se analiza todo el material, es decir, todas las conclusiones a las que llegan los estudiantes, efectuando así, la etapa de la síntesis del ciclo PODS.

El test de prueba consistió en 16 preguntas seleccionadas (Becerra, 2014), y relacionadas con los temas de equilibrio térmico, capacidad calorífica de sustancias, calor y temperatura, entre otros conceptos termodinámicos relacionados con la ley cero de la termodinámica.

Existen dos grupos para llevar a cabo la prueba de comparación: Un grupo lleva la metodología planteada aquí, y se conoce como el grupo experimental. Otro grupo lleva la exposición de los conceptos de manera tradicional, de una clase magistral o tradicional. Donde el estudiante debe de aprender los conceptos expuestos en la clase, con ayuda del pizarrón y actividades tradicionales de enseñanza.

Del test utilizado para evaluación, aquí sólo presentamos el análisis estadístico de algunas preguntas. Para revisar el análisis del test completo, favor de referirse al trabajo completo de investigación de Becerra (2014), que se encuentra actualmente en desarrollo y revisión.

Una pregunta modelo del test es la siguiente (pregunta número 9):

Si se mezcla agua a una temperatura de 60 °C con agua a 15 °C, la temperatura de la mezcla es

- a) Mayor a 60 °C   b) Menor a 15 °C   c) Entre 15 °C y 60 °C   d) Ninguna de las anteriores

Esta es una pregunta relacionada con el equilibrio térmico de las sustancias. Lo que queremos aquí es mostrar el análisis estadístico *t* de *student* de esta pregunta y de otras similares (preguntas 10 a 16), y de esta forma tratar de formarnos un criterio sobre la efectividad de la metodología didáctica empleada por Becerra. Las otras preguntas que analizamos, aquí son también con miras a evaluar el entendimiento del principio de equilibrio térmico.

### III. RESULTADOS RECOLECTADOS SOBRE UNA PREGUNTA DEL TEST

El análisis estadístico de las preguntas 9 a 16 del test de Becerra involucra el cálculo de la *t* de Student que compara el valor promedio de evaluación que alcanzaron los alumnos del grupo de control con el que alcanzó el grupo experimental. Mostramos los puntajes adquiridos tanto por el grupo de control (que llamamos grupo A) como el experimental (al que llamamos por comodidad grupo B). Las listas de evaluaciones son dadas en la tabla I.

Para realizar el análisis empleamos una herramienta gratuita desarrollada originalmente en la Universidad de Auckland en 1993, por Robert Gentleman y Ross Ihaka. Esta herramienta es el software estadístico “R”, que puede bajarse de su sitio oficial de internet [www.r-project.org](http://www.r-project.org) que además da instrucciones relevantes para los principiantes, como por ejemplo: ¿Qué es R?, da un manual, guía de preguntas frecuentes (o FAQ siglas por la frase en inglés “Frequently Asked Questions”), etc. Debido a que “R” es un software gratuito, es de una conveniencia muy alta para fines académicos, donde muchas veces no se cuenta con el presupuesto suficiente para el uso de software de licencia, que muchas veces sale muy costoso, tanto a la institución donde labore el investigador en educación o al mismo

investigador, o bien, hasta a los estudiantes. También es conveniente debido a que es un lenguaje de programación orientado a objetos que puede resolver problemas matemáticos muy variados.

**TABLA I.** Resultado de la evaluación de los grupos de control y experimental para la pregunta 9 del test aplicado.

Grupo de control o Grupo A		Grupo Experimental o Grupo B	
Pretest	Posttest	Pretest	Posttest
0	10	0	0
0	0	10	10
10	10	0	10
0	10	0	10
10	10	10	10
0	0	0	10
10	10	0	0
10	10	10	10
10	10	0	10
0	0	0	10
10	10	10	10
10	10	0	0
0	10	10	10
0	0	0	10
10	10	10	10
10	10	0	10
0	0	0	0
10	10	10	10
10	10	0	10
0	0	10	10
10	10	0	0
0	10	0	10
0	10	10	10
0	0	10	10
10	10	0	0
0	10	10	10
10	10	10	10
0	0	0	0
10	10	10	10
0	10	10	10
10	10	0	0
0	10	10	10
10	10	0	10
0	0	10	10
0	10	10	10

0	10	10	10
10	10		

#### IV. USO DEL SOFTWARE ESTADÍSTICO R

La forma en como podemos utilizar “R” (Adler, 2012; Albert et al. 2011; Teetor, 2011, January; Teetor, 2011, March) es cargando los cuatro vectores de calificación que aparecen en la tabla No. 1. Cada columna designa a uno de estos vectores. La forma cargar vectores en “R” es mediante el comando “c()”, donde las componentes del vector se introducen entre los paréntesis de la orden separados por comas. Por ejemplo, para cargar las evaluaciones correspondientes al pretest del grupo de control lo hacemos en una variable que llamaremos pre9.con, por ser estas correspondientes a la pregunta 9 del test. Así realizamos la siguiente orden en la línea de comando de “R”.

```
➤      pre9.con                                     <-
c(0,0,10,0,10,0,10,10,10,0,10,10,0,0,10,10,0,10,10,0,0,0,10,0,10,0,10,0,10,0,10,0,10,0,0,0,10);
```

y comandos similares para los demás vectores. Aquí, el símbolo “>” es simplemente la manera que tiene “R” de decir que esta esperando un comando del usuario, también se le denomina símbolo de “prompt”, el símbolo “<-” indica que el vector almacenado en “c()”, se guarda, en la variable denominada pre9.con, que designamos así como convención propia de que se trata de la pregunta 9 del test en su fase de pretest para el grupo de control. Pero podría tener algún otro nombre, que nosotros prefiramos.

Los demás vectores, relacionados con la pregunta 9 son

```
➤      pos9.con <- c(10,0,10,10,10,0,10,10,10,0,10,10,10,0,10,10,0,10,10,0,10,10,10,
0,10,10,10,10,0,10,10)
➤      pre9.exp                                     <-
c(0,10,0,0,10,0,0,10,0,0,10,0,0,10,0,0,10,0,0,10,10,0,10,10,0,10,0,10,0,10,10,10)
➤      pos9.exp <- c(0,10,10,10,10,10,0,10,10,10,10,0,10,10,10,0,10,10,0,10,10,0,10,10,0,
10,10,0,10,10,10,10)
```

El primer vector corresponde al postest para la pregunta 9 del grupo de control. El segundo de estos vectores corresponde a las evaluaciones del pretest para la pregunta 9 del grupo experimental. El tercer vector corresponde al postest para la pregunta 9 del grupo experimental. (Todos los vectores de evaluación, siguen una convención parecida).

Estos cuatro “vectores” corresponden a la pregunta 9, y habrá otros 4 vectores de calificaciones o evaluaciones para la pregunta 10, y otros 4 vectores para la siguiente pregunta 11. Este proceso continua hasta la pregunta 16. Elegimos estas preguntas para hacer un análisis estadístico, porque son éstas preguntas del test, que están relacionadas con el conocimiento sobre la ley cero de la termodinámica.

Para la pregunta 10, se recolectan los siguientes vectores, de calificaciones

```
➤      pre10.con <- c(10,0,0,0,10,0,0,0,0,0,0,10,0,0,10,0,0,0,0,0,10,0,0,0,0,10,0,0,0,10,0,0,10,0,0,0)
➤      pos10.con                                     <-
c(10,0,0,0,10,0,0,0,10,0,0,10,0,0,10,0,0,10,0,0,10,10,0,0,10,0,0,0,10,10,0,10,10,0,10,10)
➤      pre10.exp <- c(0,0,10,0,0,0,10,0,0,0,0,0,0,0,0,0,10,0,0,0,10,0,0,10,0,0,10,0,10,0,0,0,0)
➤      pos10.exp                                     <-
c(10,0,10,0,10,0,10,0,10,0,10,0,0,10,0,10,0,10,10,0,10,10,0,10,10,0,10,0,10,10,0,10,10,0,10,10)
```

Vamos a enlistar ahora los vectores correspondientes a las otras 4 preguntas del test relacionadas con equilibrio térmico

```

➤ pre11.con <- c(10,0,0,0,0,0,0,0,10,0,0,0,0,0,0,10,0,0,0,0,10,0,0,0,0,10,0,0,0,0,10,0,0,0)
➤ pos11.con <-
c(10,0,0,10,0,0,10,0,10,0,10,0,10,0,10,10,0,10,0,10,10,0,0,10,10,0,10,0)
➤ pre11.exp <- c(0,0,0,10,0,0,0,0,10,0,0,10,0,0,0,0,0,10,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)
➤ pos11.exp <-
c(10,0,10,10,0,0,10,0,10,0,10,10,0,10,0,10,0,10,0,10,10,0,10,10,0,10,0)
➤ pre12.con <- c(10,0,0,0,0,10,0,0,10,0,0,10,10,0,0,0,10,0,0,0,10,0,10,0,0,0,0,10,0,10,0,0,10,0)
➤ pos12.con <-
c(10,0,10,0,0,0,10,0,0,10,0,0,10,10,0,10,10,0,10,10,0,10,10,0,10,0,10,0)
➤ pre12.exp <- c(0,0,0,0,0,0,0,0,10,0,0,10,0,0,0,0,10,0,0,0,0,10,0,0,0,0,0,0,0,10,0)
➤ pos12.exp <-c(0,10,0,10,0,10,0,10,0,10,0,10,10,10,0,10,10,10,0,10,10,10,0,10,10,0,10,10,0,10,10,0,10,0)
➤ pre13.con <- c(0,10,0,0,10,0,10,0,10,0,0,0,0,10,0,0,10,0,0,0,10,0,0,0,0,10,0,10,10,0,0,0,10,0)
➤ pos13.con <-
c(0,10,0,10,10,0,10,0,10,0,10,0,10,0,10,10,0,10,0,10,0,10,0,10,0,10,0)
➤ pre13.exp <- c(0,0,0,0,0,0,0,0,10,0,0,0,10,0,0,0,0,0,0,10,0,0,0,0,0,0,0,0,10,0)
➤ pos13.exp <- c(0,10,10,0,10,10,0,10,10,10,0,0,10,0,10,10,0,10,0,10,0,10,0,10,0,10,0,10,0,10,0,10,0,0,10,0)
➤ pre14.con <- c(0,0,0,10,0,0,0,0,0,0,10,0,0,0,10,0,0,0,0,0,10,0,0,0,0,0,10,0,0,0,0,0,0)
➤ pos14.con <- c(0,0,0,10,0,0,10,0,0,0,10,10,0,0,10,0,0,10,0,0,10,0,10,10,10,0,0,10,0,10,0,10,10,0,10,0)
➤ pre14.exp <- c(0,0,0,0,0,10,0,0,10,0,0,0,10,0,0,0,10,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)
➤ pos14.exp <- c(10,10,0,10,10,10,10,10,10,0,10,10,0,10,10,10,0,10,10,10,0,0,10,0,0,10,0,10,10,0,10,0,10,0)
➤ pre15.con <- c(0,0,0,10,0,0,10,0,0,0,0,0,0,0,10,0,0,0,0,0,10,0,0,0,0,0,10,0,0,0,0,0,0)
➤ pos15.con <-
c(0,0,0,10,0,0,10,0,10,0,10,0,0,10,10,0,10,0,0,0,0,10,0,10,0,10,0,10,0,10,0,10,0)
➤ pre15.exp<-c(0,0,0,0,0,0,0,0,10,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,10,0,0,0,0,0,10,0,0,10,0,0)
➤ pos15.exp<-
c(10,0,10,10,10,0,10,10,10,0,10,10,0,0,10,10,0,10,10,0,10,10,0,10,0,10,0,10,0,10,0,0)
➤ pre16.con <- c(0,0,0,10,0,0,10,0,0,0,0,10,0,0,10,10,0,10,0,0,10,0,10,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)
➤ pos16.con <-
c(0,0,0,10,0,0,10,0,10,0,0,10,0,0,10,0,0,10,0,0,10,0,10,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)

```

Se procede ahora a “promediar” cada vector para obtener otros vectores auxiliares, que representan la evaluación del test para el tema de equilibrio termodinámico. Esto se hace a través de la función “mean()” de “R”, así por ejemplo construimos el vector “pos.exp”, que representa el vector de evaluación para la etapa del postest del grupo experimental, con las siguientes órdenes o comandos sencillos. Esto se hace componente por componente.

```

➤ pos.exp <- c()
➤ pos.exp[1] <- mean(pos9.exp)
➤ pos.exp[2] <- mean(pos10.exp)
➤ pos.exp[3] <- mean(pos11.exp)
➤ pos.exp[4] <- mean(pos12.exp)

```

- pos.exp[5] <- mean(pos13.exp)
- pos.exp[6] <- mean(pos14.exp)
- pos.exp[7] <- mean(pos15.exp)
- pos.exp[8] <- mean(pos16.exp)

Similarmente, construimos el vector “pos.con”, con promedios, así:

- pos.con <- c()
- pos.con[1] <- mean(pos9.con)
- pos.con[2] <- mean(pos10.con)
- pos.con[3] <- mean(pos11.con)
- pos.con[4] <- mean(pos12.con)
- pos.con[5] <- mean(pos13.con)
- pos.con[6] <- mean(pos14.con)
- pos.con[7] <- mean(pos15.con)
- pos.con[8] <- mean(pos16.con)

La primer orden, es para “inicializar” el vector, y las siguientes, van construyendo al vector de evaluación. Como se observa, los vectores empiezan con el índice 1, y continúan con 2, etc., hasta 8; pero las preguntas usadas empiezan desde la pregunta 9, hasta la 16 del test.

Estos dos vectores de evaluación o calificaciones, contemplan la fase del “postest”. Para el “pretest” existen los siguientes vectores:

- pre.exp <- c()
- pre.con <- c()
- pre.exp[1] <- mean(pre9.exp)
- pre.exp[2] <- mean(pre10.exp)
- pre.exp[3] <- mean(pre11.exp)
- pre.exp[4] <- mean(pre12.exp)
- pre.exp[5] <- mean(pre13.exp)
- pre.exp[6] <- mean(pre14.exp)
- pre.exp[7] <- mean(pre15.exp)
- pre.exp[8] <- mean(pre16.exp)
- pre.con[1] <- mean(pre9.con)
- pre.con[2] <- mean(pre10.con)
- pre.con[3] <- mean(pre11.con)
- pre.con[4] <- mean(pre12.con)
- pre.con[5] <- mean(pre13.con)
- pre.con[6] <- mean(pre14.con)
- pre.con[7] <- mean(pre15.con)
- pre.con[8] <- mean(pre16.con)

Para realizar la prueba paramétrica de la *t* de Student que compara la evaluación del postest contra el pretest en el grupo de control se emplea la función `t.test()` de “R”, con los siguientes parámetros. Suponiendo que el vector `pos.con` guarda las evaluaciones de los estudiantes del grupo de control entorno a las preguntas 9 a 16 del test, en su fase de postest. También hay que explicar que como se trata del mismo grupo de estudiantes, se toma la prueba, como

de datos “apareados”, lo cual se maneja en “R” con el argumento: `paired=TRUE`, dentro de la función que calcula la  $t$  de Student. Entonces se da el siguiente comando (Albert, J., Rizzo, M., 2011).

➤ `t.test(pos.con, pre.con, paired=TRUE)`

Lo cual, nos reporta el siguiente conjunto de resultados:

```
Paired t-test with pos.con and pre.con
t = 11.1306, df = 7, p-value = 1.052e-05
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 2.048709 3.153993
sample estimates:
mean of the differences
      2.601351
```

Que entre otras cosas, nos da el resultado de la  $t$  de Student, su intervalo de confianza al 95%, los grados de libertad y su valor “ $p$ ”. El intervalo de aceptación de la hipótesis nula ( $H_0$ ), se maneja a partir del parámetro alfa a  $\alpha/2$  dos colas.

En “R” este parámetro se calcula mediante la función de inspección

➤ `qt(0.975, 7)`

Aquí 7 son los grados de libertad de la prueba, que se hizo. Como en el subtest hay 8 preguntas, este número es el número de preguntas menos uno. Esto me calcula la coordenada “ $x$ ” (o abscisa) que corresponde a la mitad el parámetro alfa antes citado (también llamado *nivel de significación* o probabilidad de cometer error tipo I) (Salinas, n.d.). El nivel de confianza de la prueba  $t$  de Student se mide con la expresión  $1 - \alpha$ , que al 95% es .95, sólo que como la prueba la estamos haciendo a dos colas tomamos la mitad de alfa siendo para la cola positiva la expresión  $1 - \frac{\alpha}{2}$ , que corresponde al valor de 0.975, y que es el valor utilizado en la función “qt” de “R”, y corresponde al “área bajo la curva” de la función  $t$  de Student, de la cola derecha. Para visualizar la situación pasada utilizamos el paquete NCStats del Northland College (Rforge, n.d.), y una función “tstudent3”, que escribimos nosotros mismos de acuerdo a nuestras necesidades de análisis.

La instrucción para instalar el paquete NCStats es

➤ `source("http://www.rforge.net/NCStats/InstallNCStats.R")`

y puede consultarse en la página web de instalación para NCStats, que la organización “rforge”, ha puesto en internet (Rforge, n.d.) <http://www.rforge.net/NCStats/Installation.html>, la utilización en “R”, se consigue al “cargar” el paquete con la orden

➤ `library(NCStats)`

Una vez cargada la librería, definimos nuestra función gráfica `tstudent3` de la siguiente forma (Chang, 2011; Mittal, 2013)



```

➤      tstudent3 <- function (x) {
height <- 4.8
aspect <- (1+sqrt(5))/2
X11(width = aspect * height, height = height)
par(ann=FALSE, font=3, font.axis=3)
plot(x, smoothness=1000, shade.col="blue3", shade.col2="red")
par(mgp=c(3,3,0), col.axis="blue3")
axis(1, at=x$statistic[1][[1]], labels="t")
alpha12 <- abs(qt(.975,x$parameter[1][[1]]))
yalpha12 <- dt(alpha12,x$parameter[1][[1]])
text(alpha12, yalpha12+0.05, expression(alpha/2), adj=c(-0.1,0), col="forestgreen")
text(-alpha12, yalpha12+0.05, expression(-alpha/2), adj=c(1.1,0), col="forestgreen")
axis(1, at=alpha12*c(-1,1), labels=NA, col.ticks="forestgreen", tcl=4.0)
title(sub="t de student", font.sub=4)
}

```

Donde usamos el parámetro de función “x” para introducir la estructura de datos (llamada “objeto”) arrojada por la función “t.test()”. Para esto, guardamos los resultados de t.test() en el objeto “eq.term.con”, con el operador de asignación “<-”, de la forma

```

➤      eq.term.con <- t.test(pos.con, pre.con, paired=TRUE)

```

y en seguida, llamamos a la función tstudent3, que hemos escrito, con este argumento

```

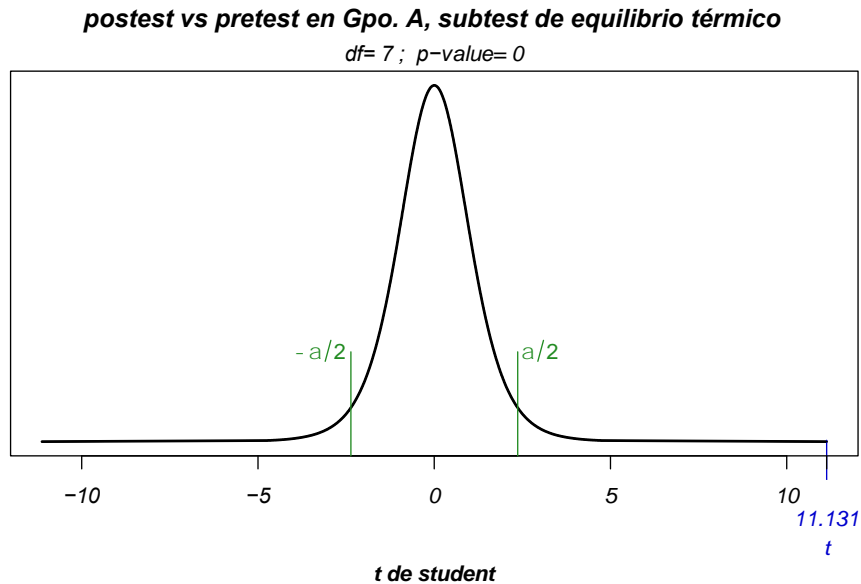
➤      tstudent3(eq.term.con);
➤      title (“postest vs pretest en Gpo. A, subtest de equilibrio térmico”, font.main=4);
➤      dev.off();

```

Aquí, el primer comando, hace la gráfica de la  $t$  de Student, en la interfaz gráfica X11, que es llamada dentro de la función “tstudent3()”. El segundo comando, pone el título “postest vs pretest en Gpo. A, subtest de equilibrio térmico”, sobre la gráfica generada, y por último, dev.off(), cierra el dispositivo gráfico X11 (“device” en inglés). Pero antes de cerrarlo, guardamos el archivo gráfico en algún formato conveniente como “jpeg” o “pdf”, manipulando los “menús” gráficos de la ventana X11. Otra forma de guardar el gráfico generado, es sustituyendo el dispositivo X11, de la función tstudent3(), por el dispositivo “pdf()”, que crea el gráfico en formato “pdf” en forma directa, y lo termina de cerrar y guardar cuando cerramos el dispositivo con el comando “dev.off()”.

La gráfica, de la  $t$  de Student, para medir el aprovechamiento que tuvo el grupo de control en la parte relacionada al equilibrio térmico del test, se muestra en la figura 1.

Aquí se aprecia que la  $t$  de Student queda fuera del rango de aceptación de la hipótesis nula, que es de  $-\alpha/2$  a  $\alpha/2$ . Por lo tanto, las medias de aprovechamiento difieren entre sí, (con un error de cometer error de que esto no es así de menos del 5%), indicando que el grupo de control, que utilizó la metodología de la enseñanza tradicional, ha aprendido el concepto de equilibrio térmico (tema de las preguntas 9 a 16 del test), satisfactoriamente.



**FIGURA 1.** Se muestra el valor de la  $t$  de Student para el grupo de control o grupo A, en las preguntas 9 a 16 del test aplicado. Como  $t=3.65 > \alpha/2$ , o de otra forma  $t \notin \left[-\frac{\alpha}{2}, \frac{\alpha}{2}\right]$  entonces se rechaza la hipótesis nula  $H_0$ , con un nivel de cometer un error tipo I de menos del 5%.

## V. OTROS RESULTADOS RELEVANTES

La figura 1. Nos muestra que el grado de aprovechamiento usando la clase magistral, y los métodos convencionales de la *enseñanza tradicional*, nos arrojan buenos resultados de aprovechamiento entre los estudiantes, que ven el equilibrio térmico de sustancias, (en el Colegio de Santa Isabel de Hungría en Colombia). Sin embargo, necesitamos realizar otras pruebas para poder apreciar la efectividad de una metodología apoyada en el ciclo PODS, conjuntamente con el uso de tecnologías de la información.

Para esto, utilizamos otras pruebas paramétricas  $t$  de Student. Para evaluar al grupo experimental usamos el comando

➤ `t.test(pos.exp, pre.exp, paired=TRUE)`

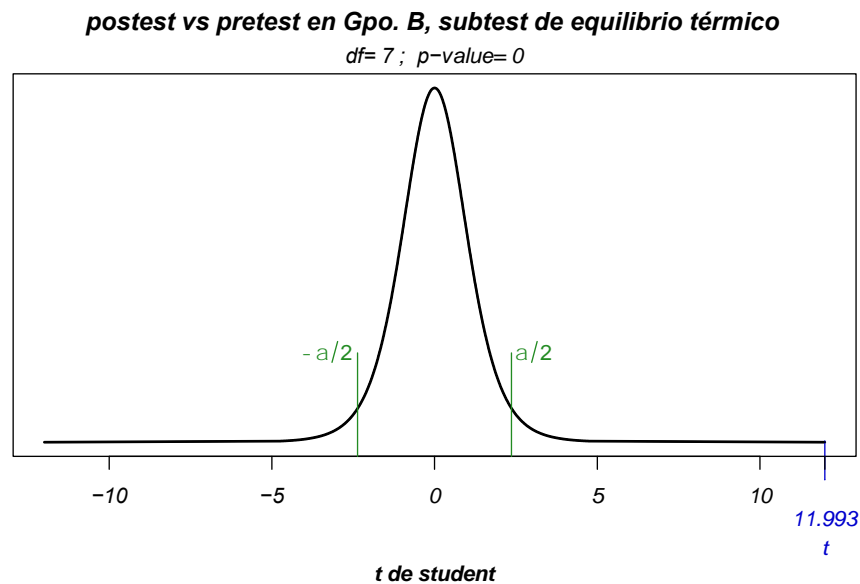
```
Paired t-test with pos.exp and pre.exp
t = 11.9928, df = 7, p-value = 6.384e-06
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 3.763265 5.611735
sample estimates:
mean of the differences
 4.6875
```

que nos da un valor de  $t=11.9928$ , y se puede graficar como lo muestra la figura 2. Este resultado se traduce, en que el grupo experimental, que ha empleado la metodología propuesta de usar el ciclo PODS combinado con aparatos tecnológicos durante la exposición de los temas, y el uso de simulaciones flash, también ha aprendido el concepto de equilibrio térmico (esto lo sugiere el tipo de concepto termodinámico exhibido en las preguntas 9 a 16). Demostrando, que son pocos los alumnos del grupo experimental que no lograron entender el concepto de equilibrio térmico.

Todavía, nos faltaría otra comparación en este trabajo de investigación, y es comparar el método tradicional de enseñanza con el propuesto por Becerra (2014), en su trabajo de tesis, bajo desarrollo. Para esto, hay que comparar (al nivel de análisis de estas preguntas 9 a 16), los resultados que hubo en la fase del postest del grupo experimental, contra los resultados de las evaluaciones obtenidas del grupo de control en su fase análoga de postest.

Para comparar ambos grupos en la misma pregunta del cuestionario, realizamos otra prueba *t* de Student. Esta vez, como ya lo hemos dicho antes, comparamos los resultados del postest del grupo experimental contra los resultados del postest del grupo de control, para las preguntas 9 a 16.

En esta ocasión, como los grupos son esencialmente *diferentes*, necesitamos hacer una prueba *t* de Student, que involucra datos de los vectores de calificación no-apareados, y se logra mediante la siguiente orden (donde hemos puesto el parámetro “paired” como “FALSE”).



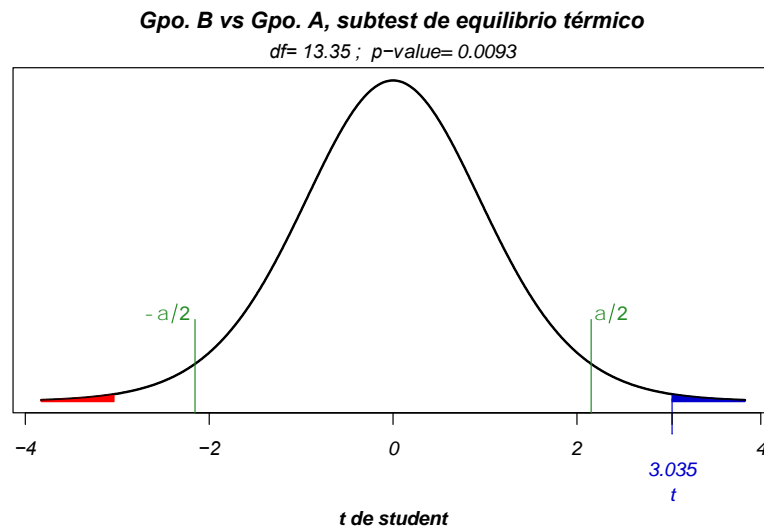
**FIGURA 2.** Valor de la *t* de Student para el grupo experimental, al igual que en el grupo de control, se nota que *t* esta fuera del intervalo de aceptación de la hipótesis nula ( $H_0$ ), representada por el intervalo de  $-\alpha/2$  a  $\alpha/2$ . Por lo que se concluye, que la metodología de enseñanza propuesta aquí, también da buenos resultados de aprendizaje con los estudiantes.

➤ `t.test(pos.exp, pos.con, paired=FALSE)`

```
Welch Two Sample t-test with pos.exp and pos.con
t = 3.0354, df = 13.351, p-value = 0.00932
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.4152681 2.4469691
sample estimates:
mean of x mean of y
 6.701389  5.270270
```

La comparación de aprovechamiento entre ambos grupos, por la *t* de Student puede verse gráficamente en la figura 3. En este experimento, el aprovechamiento de los alumnos empleando la metodología propuesta por Becerra, aparece como mejor con respecto a los métodos usados en la enseñanza tradicional.

Estos resultados, son motivadores, desde el punto de vista, que nos sugiere que existen métodos alternativos de enseñanza a los métodos tradicionales, donde los estudiantes son principalmente beneficiados, con una mejor comprensión y mejor aprendizaje de los conceptos que se exponen en clase. Las metodologías, sin embargo, nos demandan a nosotros como educadores, mayor tiempo de preparación, y más esfuerzo a la hora de exponer los temas, además involucran una mayor participación del estudiante. Sin embargo, por los resultados aquí mostrados, este esfuerzo adicional, bien vale la pena.



**FIGURA 3.** Análisis de la  $t$  de Student, para comparar el aprovechamiento que hubo entre ambos grupos, en el tema de equilibrio térmico. Como el parámetro  $t$  se encuentra fuera del intervalo de aceptación de la hipótesis nula ( $H_0$ ), que esta en los valores comprendidos entre  $-\alpha/2$  y  $\alpha/2$ , entonces según esta prueba paramétrica, la metodología propuesta por Becerra, fundamentada en el ciclo PODS y el empleo de tecnología de la información, arroja mejores resultados con respecto a la enseñanza tradicional, siendo el factor de error en menos del 5%, a dos colas de la prueba.

## VI. COMO GUARDAR LOS RESULTADOS

Como esta ha sido una sesión larga de “R”, para hacer el análisis estadístico de los resultados, incluyo brevemente la manera de guardar los vectores de calificación y resultados. Esto se puede hacer con el uso del paquete “session” (Warners, n.d.) , que se instala en “R” con la orden

- `install.packages(“session”)`

Después “cargamos” este paquete o librería con la orden

- `library(session)`

Para salvar los vectores de evaluación y los resultados asignados a variables, de la  $t$  de Student, lo realizamos con la orden

- `save.session(“my-R-session.R”)`

Y todas las variables, se salvan en el archivo que nombramos aquí “my-R-session.R”. La próxima vez, que ocupemos estos valores para trabajarlos, los podemos recuperar con la orden

➤ `restore.session(“my-R-session.R”)`

La manera, de checar que hemos salvado todas las variables que necesitamos, es pidiéndole a “R”, un listado de ellas con la orden

➤ `ls(all=TRUE)`

De esta manera, nos aseguramos de que tenemos todo lo que necesitamos, antes de salvar la sesión y posteriormente salir de ella (la forma de salir de la sesión es con el comando `quit()` de “R”). Otros comandos o funciones útiles quizá sean “`getwd()`” y “`setwd()`”, que son para conseguir el directorio actual de trabajo (donde “R” por ejemplo, guarda nuestra sesión, o realiza muestras gráficas), y para asentar el directorio de trabajo. Para aprender a utilizar estas y otras instrucciones, “R” cuenta con un sistema de ayuda en línea. Por ejemplo, si queremos saber como utilizar “`setwd()`”, y que parámetros emplea, le preguntamos a “R” con el comando

➤ `?setwd`

Así, con estas funciones auxiliares, podemos manejar “R” cómodamente, y de manera segura, sin perder los resultados o las variables de nuestro análisis. Se recomienda seguir las referencias de este trabajo, para una mejor explicación de las funciones y características de “R”, como herramienta, y como lenguaje de programación (Maltoff, 2011).

## VII. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha hablado acerca de una metodología moderna de enseñanza-aprendizaje de la Física, que ha sido aplicada al tema específico de equilibrio térmico entre sustancias (Becerra, 2014). Luego, con la finalidad de evaluar, tanto la enseñanza tradicional de estudio y ésta metodología, se procedió a un análisis paramétrico estadístico utilizando la  $t$  de Student, ambos métodos de enseñanza se mostraron efectivos para la enseñanza de este tema en particular. Así también se hizo una comparación entre ambos métodos, promediando varios resultados de una sección del test aplicado a los estudiantes por Becerra, y efectuando otra vez un análisis  $t$  de Student. Los resultados de éste último análisis, nos dicen que con menos del 5% de probabilidad de error, la metodología aquí estudiada funciona mejor para los estudiantes, obteniéndose en promedio, un mejor aprovechamiento del tema del equilibrio térmico entre dos sustancias. Así, este resultado nos motiva, a sugerir, que existen métodos, además de los tradicionales, que pueden ser utilizados, durante la exposición al menos del tema de equilibrio térmico, donde los estudiantes pueden obtener un mejor aprovechamiento, al menos de este tema. Los otros temas como capacidad calorífica, y similares, están también incluidos en las preguntas del test de Becerra (2014), que van de la pregunta 1 a la 8, y su análisis estadístico está pensado para ser publicado, en un futuro artículo para Lat. Am. J. of Phys. Educ.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren dar su agradecimiento, a la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional en México, por el apoyo recibido, con el proyecto número 20144659 *Empleo de Tecnologías de la Información y la Comunicación para la enseñanza de la ley cero de la termodinámica a nivel medio superior*, y al

proyecto de investigación número 20141373 *Prototipos de dinámica para ingeniería basados en aprendizaje por proyectos*. También quieren agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México por su apoyo, y al *Colegio de Santa Isabel de Hungría* en Colombia, por haber facilitado sus instalaciones y por su apoyo, en la recopilación de resultados, para la realización de este experimento comparativo de metodologías para el proceso de enseñanza-aprendizaje.

## REFERENCIAS

Adler, J., (2012). *R in a Nutshell*. CA: O'Reilly.

Albert, J., Rizzo, M., (2011). *R by Example*. New York: Springer Verlag.

Arizona, (n.d.). *Introduction to R. I. Using R for Statistical Tables and Plotting Distributions*. Retrieved from <http://math.arizona.edu/~jwatkins/R-01.pdf>, last consulted July/30/2014.

Becerra Rodríguez, D. F., (2014). *Empleo de las TIC en la enseñanza del equilibrio térmico de dos sustancias en el nivel Medio Superior*. (Tesis inédita de Maestría). Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Legaria, Calzada Legaria #694, Colonia Irrigación, Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11,500, México, D.F.

Chang, W., (2013). *R Graphics Cookbook*. CA: O'Reilly.

Laws, P. W., Boyle, R. J., Cooney, P. J., Laws, K. L., Luetzelschwab, J. W., Sokoloff, D. R., Thornton, R. K., (2004). *Workshop Physics Activity Guide. Module 2. Mechanics II. The Physics Suite*. United States of America: John Wiley and Sons.

Maltoff, N., (2011). *The Art of R Programming*. San Francisco: No Starch Press.

Mittal, H., (2011). *R Graphs Cookbook*. Birmingham, UK: Packt Publishing.

Rforge, (n.d.). *NCStats – Functions to support learning in Northland College statistics courses*. Retrieved from <http://rforge.net/NCStats>, last consulted July/30/2014.

Rforge, (n.d.). *NCStats – Functions to support learning in Northland College statistics courses*. Retrieved from <http://rforge.net/NCStats/Installation.html>, last consulted July/30/2014.

Salinas, J. M., (n.d.). *Contrastes de hipótesis. Método científico y contrastación de hipótesis*. Retrieved from <http://www.ugr.es/~jsalinas/apuntes/C13.pdf>, last consulted July/30/2014.

Sokoloff, D. R., Thornton R. K., Laws, P. W., (2004). *RealTime Physics. Active Learning Laboratories. Module 1. Mechanics. The Physics Suite*. United States of America: John Wiley and Sons.

Sokoloff, D. R., Thornton R. K., Laws, P. W., (2004). *RealTime Physics. Active Learning Laboratories. Module 3. Electric Circuits. The Physics Suite*. United States of America: John Wiley and Sons.

Sokoloff, D. R., Thornton R. K., Laws, P. W., (2004). *RealTime Physics. Active Learning Laboratories. Module 4.*

*Light and Optics. The Physics Suite.* United States of America: John Wiley and Sons.

Teetor, P., (2011, January). *25 Recipes for getting Started with R.* CA: O'Reilly.

Teetor, P., (2011, March). *R Cookbook.* CA: O'Reilly.

Warners, G. R., (n.d.). *Inside-R. (A Community Site for R – Sponsored by Revolution Analytics).* *save.session {session}*.  
Retrieved from <http://www.inside-r.org/packages/cran/session/docs/save.session>, last consulted July/30/2014.