

Universidad de Morelos
Facultad de Ingeniería y Tecnología

METODOLOGÍA ESTADÍSTICA PARA EL ANÁLISIS
DE VARIABLES ASOCIADO A UNA
INTERVENCIÓN DE EXERGAMIG
USANDO SOFTWARE R

Proyecto de investigación
presentada en cumplimiento parcial
de los requisitos para el grado de
Ingeniería Industrial y Sistemas

Por:

Jhonatan Miguel Trinidad

Abril 2015

CONSTANCIA DE AUTORIA Y CESIÓN DE DERECHOS DE REPRODUCCIÓN

El abajo firmante, AUTOR del informe de investigación titulado Metodología estadística para el análisis de variables asociado a una intervención de Exergaming usando software R. por intermedio de la presente, DA FE de la autoría y originalidad de la obra mencionada que se presenta ante la Facultad de Ingeniería y Tecnología para ser evaluada con el fin de obtener el Grado Académico en Ingeniería Industrial y Sistemas.

Asimismo, dejo expresada mi conformidad de ceder los derechos de reproducción y circulación de esta obra, en forma NO EXCLUSIVA, a la Facultad de Ingeniería y Tecnología de la Universidad de Morelos. Dicha reproducción y circulación se podrá realizar, en una o varias veces, en cualquier soporte, para todo el mundo, con fines sociales, educativos y científicos.

Entiendo que dicha cesión no entraña obligación ninguna para la Facultad de Ingeniería y Tecnología, que podrá o no ejercitar los derechos cedidos.

Se firma la presente en la ciudad de Morelos Nuevo León, a los 16 días del mes de Marzo de 2015.

Firma

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'A' followed by a surname, all written over a horizontal line.

CURP: MITJ910718HVZGRH06


METODOLOGÍA ESTADÍSTICA PARA EL ANÁLISIS
DE VARIABLES ASOCIADO A UNA
INTERVENCIÓN DE EXERGAMIG
USANDO SOFTWARE R

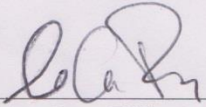
Proyecto de investigación
presentada en cumplimiento parcial
de los requisitos para el grado de
Ingeniería Industrial y Sistemas


Por:

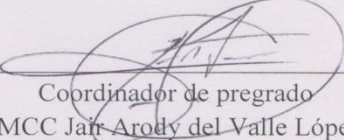
Jhonatan Miguel Trinidad

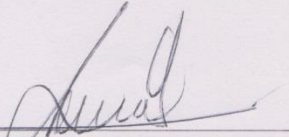
APROBADA POR LA COMISIÓN


Asesor principal: M.C. Raúl Rodríguez Antonio


Evaluador: Ing. Filiberto Grajeda Piedra


Evaluador: Ing. José Isidro Romero Gutiérrez


Coordinador de pregrado
MCC Jair Arody del Valle López


Director MCCI Alejandro W. García Mendoza

16 - Abril - 2015
Fecha

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a Dios quien da el conocimiento para terminar este proyecto, a mis Padres por su apoyo incondicional.

DECLARACIÓN DE INTEGRACIÓN DE LA FE

Quando la sabiduría entrare en tu corazón, Y la ciencia fuere grata a tu alma, La discreción te guardará; Te preservará la inteligencia, Para librarte del mal camino, De los hombres que hablan perversidades, Prov. 2: 10-12

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA..... iii

DECLARACIÓN DE INTEGRACIÓN DE LA FE..... iv

Sección

I.	Introducción.....	1
II.	Metodología.....	3
III.	Resultados	5
IV.	Conclusiones	8

Metodología estadística para el análisis de variables asociado a una intervención de Exergaming usando software R.

Jhonatan Miguel-Trinidad
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Universidad de Morelos
Morelos, Nuevo León, México

Raúl Rodríguez-Antonio
Facultad de Ingeniería y Tecnología
Universidad de Morelos
Morelos, Nuevo León, México

Abstract— El sedentarismo, ciertos patrones alimenticios y otros factores, son predictores de la obesidad y el sobrepeso. Este fenómeno se ha convertido en un problema de salud pública en México, mostrando un crecimiento notable en la población infantil. Exergaming es una propuesta para lograr la activación física en diversos grados empleando plataformas de videojuegos. El programa se basa en una intervención de Exergaming con duración de cuatro semanas, una hora diaria, en una muestra de niños en edad escolar, seleccionados de una institución educativa del Estado de Nuevo León ($n = 23$, 10 niños y 13 niñas, edades de 6-11 años). Se analizaron doce variables, con base en medidas antropométricas y pruebas físicas, utilizando el test de Leeds® de 1959 y la batería de Fitnessgram® en etapas previas y posterior a la intervención de Exergaming. Para los casos de datos faltantes se efectuó imputación empleando el criterio Closest Match Average. Para determinar el efecto de la intervención de Exergaming se efectuaron comparaciones pareadas univariadas (prueba t de Student y de rango con signo de Wilcoxon), comparaciones pareadas multivariadas (T^2 de Hotelling), así como Manova de uno y dos factores. Se utilizó el Software R versión 3.1.2. El nivel de significancia se fijó en 0.05. Se encontró evidencia que sugiere que la intervención de Exergaming mejora significativamente la condición física de los sujetos de prueba, en los componentes de composición corporal, fuerza-resistencia muscular y psicomotriz.

Keywords— Exergaming, comparaciones pareadas, T^2 de Hotelling, Manova

I. INTRODUCCIÓN

La etiología del sobrepeso y obesidad se reconoce como el resultado del producto de la combinación de factores genéticos, conductuales y ambientales[1], siendo los dos últimos los mayormente modificables así como los determinantes conductuales la ingesta calórica, la actividad física[2] y un estilo de los determinantes ambientales en la población pediátrica se consideran el hogar, la escuela o estancia y la comunidad como los principales áreas a considerar.[1].

Actualmente en España, uno de cada cuatro niños está en riesgo de sobrepeso y obesidad. Las consecuencias del sobrepeso y obesidad en la población infantil van desde los aspectos psicológicos, emocionales, de aprendizaje y

orgánicos. Otra de las consecuencias reportadas es un desarrollo intelectual deficiente[3].

La población infantil ha sido afectada significativamente por esta realidad, al punto que hoy en México el 34.4% de la población de 5 a 12 años presenta cierto grado de obesidad y sobrepeso. [4]

Exergaming es un término nuevo utilizado para describir el video interactivo o los juegos electrónicos que cuentan con el movimiento del jugador, como ocurriría en ejercer la participación en la “vida real”. Los videojuegos activos tienen el potencial de aumentar el gasto de energía y puede proporcionar un complemento viable para un ejercicio más tradicional. [5] Estos juegos no requieren estar sentado delante de la pantalla del ordenador o el uso de algún dispositivo multimedia de forma estática. En cambio, los jugadores deben pararse delante de la pantalla y jugar de manera más activa. Esto es a la vez muy social, además de ser de motivación. [6] Además tiene el potencial de aumentar la capacidad física y tener una influencia favorable en el balance de energía, y puede ser una alternativa viable a las actividades tradicionales de fitness para niños de diferentes niveles de IMC. [5]

En el año 2012, la Universidad de Calgary abrió un laboratorio de investigación de exergaming, donde se anuncia este Proyecto como línea de investigación innovadora con la esperanza de descubrir su la nueva generación de “exergames” realmente puede tener un impacto sobre la aptitud física de la niñez, y tal vez ayudar con la creciente incidencia de la obesidad entre la juventud canadiense, en si el laboratorio ha sido diseñado para estudiar el impacto de los videojuegos activos en la adquisición de las habilidades básicas de movimiento en los niños. [7]

Del mismo modo, desde el año 2006, la Universidad del Sur de Florida, abrió su laboratorio de exergaming con objetivos similares a los del caso mencionado anteriormente, donde sus actuales investigaciones están dirigidas hacia el estudio de las experiencias con exergaming en niños de edad escolar y efectos en casos de sedentarismo y obesidad. [8]

Se debe agregar que la condición física comprende un conjunto de cualidades físicas como la capacidad aeróbica, fuerza, resistencia muscular, movilidad articular, velocidad de

desplazamiento, agilidad, coordinación, equilibrio y composición corporal. Donde se relaciona la condición física con la salud del sujeto y las enfermedades.

Así mismo los niveles de condición física se pueden evaluar mediante test de laboratorio y test de campo. Los test de campo son los más prácticos por su fácil ejecución y escasos recursos económicos necesarios. Además de que se pueden evaluar a un gran número de niños de forma simultánea. [9] Los niveles actividad física están determinados por un conjunto de factores los cuales se manifiestan básicamente en procesos de crecimiento, desarrollo y maduración, estos son responsables del 40% o más de la variación total de la actividad física. Existen diferentes evaluaciones para la condición física: Niveles de fuerza muscular estática, flexibilidad y velocidad/agilidad, coordinación bilateral, precisión fina motora, integración fina motora, balance, etc. [10]

Fitnessgram/Activitygram es un programa de evaluación sobre la condición física desarrollado por The Cooper Institute y consiste en una batería de pruebas que evalúa de forma integral el estado de condición física de los estudiantes. El programa ha sido diseñado en alrededor de seis áreas que se evalúan a través de tres componentes de carácter general: 1. Capacidad aeróbica, 2. Composición corporal, 3. Fuerza resistencia y 4. Flexibilidad. Este tercer componente se divide a su vez en cuatro capacidades: fuerza y resistencia de la musculatura abdominal, fuerza y flexibilidad de la musculatura extensora del tronco, fuerza y resistencia de la musculatura de los miembros superiores y flexibilidad. [11]

Tabla 1. Ítems de la batería de Test Fitnessgram®

Capacidad Aeróbica	PACER (Progresive Aerobica Cardiovascular Endurance Run) Carrera Progresiva de Ida y Vuelta Una milla corriendo y caminando
Composición Corporal	Medición de pliegues, Índice de Masa Corporal y analizadores de impedancia bioeléctrica
Fuerza, Resistencia Muscular Flexibilidad	Curl-up (Abdominales), Push-up (planchas o fondos de brazos), trunk lift (Extensión Del Tronco), barras modificadas y flexión de un brazo Back Saver Sit And Reach (Pie izquierdo y derecho) y estiramiento de hombro

En la Universidad Metropolitana de Leeds en Reino Unido el Profesor Jim Mackena lleva a cabo una prueba llamada Leeds 1959, prueba diseñada de tal manera que una tabla de normas de aptitud física se podría proporcionar a los profesores para que pudieran medir el logro y la condición física de los escolares. Esta es una serie de ocho ejercicios que miden precisión, agilidad, resistencia, potencia, velocidad y fuerza. [12]

Tabla 2. Prueba de Leeds®

Test 1959	
1	Tres bloques de ida y vuelta
2	Sentadillas en un minuto
3	Disparo de Cañón o Sentadillas
4	Saltar la cuerda durante un minuto
5	Planchas o Fondos de brazo
6	Correr y caminar
7	Salto Largo
8	Lanzar al Objetivo (Puntería)

Para analizar los datos en diferentes investigaciones se dan a la tarea de primero obtener la estadística descriptiva de ellos, ya que los obtienen se dan a la tarea de aplicar diferentes métodos estadísticos que ayuden a comprobar sus hipótesis, utilizan distribución F, análisis de patrón-T, Anova, t de Student pareada, coeficiente de regresión logística multinomial, el coeficiente de correlación de test-retest, t de Student para muestras independientes, modelos de regresión logística univariada y regresiones logísticas multivariadas, boxM test, Levene test, Mauchly's test, two-way Anova y Ancova.

El análisis de datos se efectuó usando software R versión 3.1.2. R es un lenguaje de programación estadístico que se basa en los lenguajes de Fortran, C y C++ desarrollado por Laboratorios Bell (ahora Lucent Technologies) [13] de John Chambers y colegas, así mismo ofrece una amplia variedad de técnicas estadísticas y gráficas. Además de ser un software de distribución libre que tiene una amplia comunidad también es una herramienta muy potente con la capacidad de manipular efectivamente los datos, así mismo es complejo para trabajos estadísticos y ayuda a desarrollar la habilidad de programación de maximizar sus funciones del manejo de comandos.

El uso de software R, requiere del usuario un conocimiento amplio de estadística, y un conocimiento básico de programación.

En el presente estudio aborda diferentes métodos estadísticos para analizar el comportamiento y comparación de una población la cual tiene una intervención previa y posterior al test y conocer su impacto en la condición física de la población escolar. Además de comprobar cuáles son los paquetes y funciones del software R para efectuar eficientemente las pruebas de comparaciones pareadas multivariadas y pareadas, así como las técnicas de clasificación de variables.

El estudio plantea la forma de como analizar los datos y cuál es su influencia de Exergaming en la condición física de niños en edad escolar con problemas de sobrepeso y obesidad.

¿Qué variable es la de mayor peso en la prueba de Exergaming?

¿Existe diferencia significativa en el impacto en la condición física de los niños en edad escolar?

Los objetivos del estudio son, revisión de los instrumentos de evaluación de condición física en niños de edad escolar, desarrollar y documentar una estrategia para las pruebas de acondicionamiento físico y monitoreo de una intervención de exergaming e implementar dicha estrategia de análisis en una población piloto por medio del software R.

La hipótesis nula del estudio es, no hay diferencia significativa antes y después de la intervención de exergaming en niños de edad escolar. Y la alterna, existe diferencia en la condición física antes y después de la intervención de exergaming en niños de edad escolar.

Las limitantes al inicio del proyecto eran que no se conocían ni se dominaban las diferentes técnicas estadísticas multivariadas y el software para la realización de las pruebas que el estudio requería.

La delimitación a este proyecto la influencia de variación en la toma de datos y la muestra procede de dos periodos de tiempo diferentes.

II. METODOLOGÍA

El tamaño de cohorte analizada fue $n= 23$. El rendimiento físico de los sujetos de prueba fue evaluado conforme a los protocolos de las pruebas de Leeds y Fitnessgram®, previo a la intervención de *Exergaming* empleando la plataforma Xbox 360® con sensor Kinect®, posteriormente se expusieron a la intervención de *Exergaming* que consistió en una hora diaria de actividad física, durante cuatro días a la semana por el periodo de cuatro semanas. Al concluir el periodo de la intervención de *Exergaming* se evaluó nuevamente el rendimiento físico.

El rendimiento físico fue evaluado con base en doce variables agrupadas en cuatro componentes, Capacidad aeróbica, Corporal (IMC y porcentaje de grasa), Fuerza-Resistencia muscular (abdominales, planchas, extensión del tronco), Flexibilidad (Alcanzar el pie derecho e izquierdo) y Psicomotriz (saltar la cuerda durante un minuto, salto de longitud, puntería y velocidad).

Tabla 3. Codificación de variables

Fat	Porcentaje de grasa
BMI	Índice de Masa corporal
Pacer	Carrera Progresiva de Ida y Vuelta
Curlu	Abdominales
Push-up	Plancha o fondos de brazos
Trunklift	Extensión Del Tronco
Bsr	Alcanzar el pie derecho
Bsl	Alcanzar el pie izquierdo
Cuerda	Saltar la cuerda durante un minuto
Puntería	Lanzar al objetivo

Vel	Tres bloques de ida y vuelta
Long	Salto largo

Algunos sujetos no completaron todas las pruebas lo que genero casos de datos faltantes. Para estos casos se utilizó la técnica de imputación Closest Match Average, que consiste en identificar unos pocos sujetos con scores similares, o diferencias absolutas pequeñas y reemplazar el dato faltante “i” con el promedio de esos scores. [14]

Se calcularon las estadísticas descriptivas numéricas usuales y se construyeron histogramas y diagramas de cajas en estos se encontraron algunos outliers y se efectuaron modificaciones en la base de datos con base en revisión de captura y bitácora de datos, así como aplicación del método de imputación Closest Match Average

La comparación pareada t de Student se utiliza para comparar las medias de dos poblaciones que se relacionan, asume que la distribución de las diferencias de medias de cada tratamiento es normal. La hipótesis nula es que no existe diferencia significativa en las medias de dos condiciones experimentales.

En los casos que el supuesto de normalidad no se satisface, se puede emplear la opción no paramétrica de la prueba de rango con signo de Wilcoxon que compara las medianas de dos muestras relacionadas. En este caso la hipótesis nula es que no existe una diferencia significativa entre las medianas de ambas poblaciones (previa y posterior al tratamiento). [15]

La prueba t de Student pareada se verifico con el supuesto de normalidad con la prueba de Shapiro-Wilks en el nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Cabe señalar que se debe de cumplir el supuesto de normalidad multivariada de la distribución de los datos para que se puedan hacer los análisis deseados.

Un método formal para juzgar la normalidad común de un conjunto de datos se basa en las distancias cuadradas generalizadas.[16]

$$d_j^2 = (\mathbf{x}_j - \bar{\mathbf{x}})' \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{x}_j - \bar{\mathbf{x}}), \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Donde $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n$ son la observación de la muestra. El resultado es una gráfica llamada chi-square plot. Un patrón de curva sistemática sugiere falta de normalidad. Uno o dos puntos muy por encima de la línea indican grandes distancias u observaciones outlier. [16]

La detección de outliers se efectuó utilizando los paquetes MVN y chemometrics usando la distancia de Mahalanobis y la distancia robusta de Mahalanobis. Se fijó el cuantil en 0.975 como umbral de detección.

Se procedió a realizar modificaciones a la base de datos por medio del método de imputación Closest Match Average, anotando en la bitácora los cambios.

Las comparaciones pareadas multivariadas son una generalización de la prueba t pareada univariada. Consiste en comparar las respuestas de las unidades experimentales antes y después del tratamiento. El estadístico de prueba usado en

estas comparaciones es la T^2 de Hotelling. La hipótesis nula (H_0) es “no existe diferencia promedio entre los dos tratamientos” [16]

Las variables se agruparon por componentes las cuales se conformaban de dos variables o más, están delimitadas por las pruebas de Fitnessgram® y Leeds, son las siguientes (Corporal, Fuerza-Resistencia Muscular, Flexibilidad y Psicomotriz).

T^2 Hotelling: Es una generalización del estadístico t de Student que se usa en las pruebas de hipótesis multivariadas.

Dado los vectores de diferencias $\mathbf{d}_1, \mathbf{d}_2, \dots, \mathbf{d}_n$, entonces el vector de medias, la matriz de covarianzas y el estadístico T^2 de Hotelling están dados por

$$\mathbf{d} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \mathbf{d}_j \quad \mathbf{S}_d = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (\mathbf{d}_j - \mathbf{d})(\mathbf{d}_j - \mathbf{d})'$$

$$T^2 = n \mathbf{d}' \mathbf{S}_d^{-1} \mathbf{d} \quad (2)$$

Si los vectores de diferencia provienen de una distribución normal multivariada, entonces se rechaza la hipótesis nula (H_0) si

$$T^2 = n \mathbf{d}' \mathbf{S}_d^{-1} \mathbf{d} > \frac{(n-1)p}{n-p} F_{p, n-p}(\alpha) \quad (3)$$

Donde p es número de vectores de diferencias pareadas, α es el nivel de significancia, y n es el tamaño muestral. También, $F_{p, n-p}(\alpha)$ es el 100α percentil superior de una distribución F con $p, n-p, p, n-p$ grados de libertad.

Se calculó el modelo del estadístico T^2 de Hotelling y la adquisición del valor p por medio de la ubicación del umbral y la distribución F, los resultados obtenidos se compararon con el paquete ICSNP.

El análisis de varianza múltiple (MANOVA) compara varias poblaciones (tratamientos). Los arreglos, para las muestras recolectadas de una g poblaciones son

$$\begin{array}{l} \text{Población 1: } \mathbf{X}_{11}, \mathbf{X}_{12}, \dots, \mathbf{X}_{1n_1} \\ \text{Población 2: } \mathbf{X}_{21}, \mathbf{X}_{22}, \dots, \mathbf{X}_{2n_2} \\ \vdots \\ \text{Población g: } \mathbf{X}_{g1}, \mathbf{X}_{g2}, \dots, \mathbf{X}_{gn_g} \end{array} \quad (4)$$

Se adecuo la base de datos para poder analizar con las pruebas one-way MANOVA en el cual se identificó el factor y este se asignó como el tratamiento procedimos a hacer la prueba con la matriz $y_1 = 12$ variables de la prueba y el tratamiento que fue population = las pruebas pre y pos.

La prueba Manova es usado principalmente para determinar si los vectores de la media de la población de

vectores es el mismo y, si los componentes difieren significativamente. [16]

Los supuestos sobre la estructura de los datos de One-way MANOVA[16]

1. $\mathbf{X}_{l1}, \mathbf{X}_{l2}, \dots, \mathbf{X}_{ln}$, es una muestra aleatoria de tamaño n_l de una población con media μ_l , $l = 1, 2, \dots, g$. Las muestras aleatorias de diferentes poblaciones son independientes.
2. Todas las poblaciones tienen una matriz de covarianza común Σ .
3. Cada población tiene normalidad multivariada

La condición 3 podrá atenuarse, apelando al teorema de límite central cuando las muestras n_l sean grandes.

Modelo MANOVA para comparar una media g poblacional del vector.

$$\mathbf{X}_{lj} = \boldsymbol{\mu} + \boldsymbol{\tau}_l + \mathbf{e}_{lj}, \quad j = 1, 2, \dots, n_l \quad l = 1, 2, \dots, g \quad (5)$$

Cuando \mathbf{e}_{lj} es independiente $N_p(0, \Sigma)$ variables. Aquí el vector de parámetros $\boldsymbol{\mu}$ es una media general (nivel), y $\boldsymbol{\tau}_l$ representa el efecto del tratamiento lth con [16]

$$\sum_{l=1}^g n_l \boldsymbol{\tau}_l = \mathbf{0} \quad (6)$$

La hipótesis nula de no efectos de los tratamientos es $H_0: \boldsymbol{\tau}_1 = \boldsymbol{\tau}_2 = \dots = \boldsymbol{\tau}_g = \mathbf{0}$. Se rechaza H_0 si el cociente de varianzas generalizadas (lambda de Wilks es pequeño). [16]

$$\Lambda^* = \frac{|\mathbf{w}|}{|\mathbf{B} + \mathbf{w}|} = \frac{\left| \sum_{l=1}^g \sum_{j=1}^{n_l} (\mathbf{x}_{lj} - \bar{\mathbf{x}}_l)(\mathbf{x}_{lj} - \bar{\mathbf{x}}_l)' \right|}{\left| \sum_{l=1}^g \sum_{j=1}^{n_l} (\mathbf{x}_{lj} - \bar{\mathbf{x}})(\mathbf{x}_{lj} - \bar{\mathbf{x}})' \right|} \quad (7)$$

Dado que el MANOVA utiliza dos estadísticos Pillai y lambda de Wilks para las pruebas, se escogió lambda de Wilks por ser el más común. Se realizaron ANOVA's para las variables. La validación del supuesto de normalidad y de la homogeneidad de covarianza de los residuales se efectuó empleando las pruebas roystonTest y la prueba box'M.

Así mismo se realizó otra prueba la cual consistió en cambiar el factor de population (prueba pre y pos) a sexo y se evaluó el modelos de la interacción matriz-tratamiento para verificar si hay diferencia entre mujeres y hombres en la intervención de *Exergaming*. También se aplicaron todos los procedimientos como en el caso anterior.

Suponemos que las mediciones se registran en varios niveles de dos factores, estas condiciones experimentales representan los niveles de un solo tratamiento dispuesto dentro de varios bloques.

El modelo two-way MANOVA con interacción está compuesto por vectores tales como media, efecto del factor 1, efecto del factor 2 y la interacción entre dos factores[16]

$$X_{lkr} = \mu + \tau_l + \beta_k + \gamma_{lk} + e_{lkr}$$

$$l = 1, 2, \dots, g$$

$$k = 1, 2, \dots, b$$

$$r = 1, 2, \dots, n$$

(8)

$$\sum_{l=1}^g \tau_l = \sum_{k=1}^b \beta_k = \sum_{l=1}^g \gamma_{lk} = \sum_{k=1}^b \gamma_{lk} = 0$$

Donde τ_l y β_k son de orden $p \times 1$, y e_{lkr} es independiente $N(0, \sigma^2)$ variables aleatorias. Por lo tanto, las respuestas consisten en mediciones p replicados n veces en cada una de las posibles combinaciones de niveles de los factores 1 y 2. [16]

Para el análisis se eligieron los factores sexo (masculino y femenino) y edad que pueden tener mucha influencia dentro de la prueba, se procedió a evaluar el modelo en el cual el primer factor fue sexo con la interacción del tratamiento (prueba pre y pos), seguido se realizó el factor edad con la interacción del tratamiento, y por último se decidió hacer el análisis de sexo interacción edad, todos estos se realizaron con el estadístico lambda de Wilks, también se obtuvieron los resultados del ANOVA para cada variable

También se validó el supuesto de homogeneidad de covarianza y la evaluación de las hipótesis de los residuales del two-way MANOVA como en el caso del one-way.

La hipótesis nula de no interacciones de los efectos es $H_0: \gamma_{11} = \gamma_{12} = \dots = \gamma_{gb} = 0$. Contra la hipótesis alterna que por lo menos hay una que difiere de los demás $\gamma_{lk} \neq 0$. Se rechaza H_0 si el cociente de lambda de Wilks es pequeño.

III. RESULTADOS

Las variables se agruparon por componentes y en ellas se pueden ver aquellas que la intervención ayudo a que aumentaran su capacidad física y disminuir el aspecto corporal.

Análisis Univariado

Los resultados de las comparaciones pareadas empleando la prueba t de Student y la prueba de rango con signo de Wilcoxon se muestran en la tabla 4. Para verificar el supuesto de normalidad requerido por la prueba t de Student pareada se empleó la prueba Shapiro – Wilks.

Tabla 4. Resultados del análisis univariado

Variable	Media		Desv. estándar		Pruebas pareadas Valores P	
	Pre	Pos	Pre	Pos	T student	Wilcoxon
fat	40.52	31.97	9.99	8.94	0.0002*	0.001*
Bmi	21.36	20.94	5.65	3.92	0.717	0.761
Pacer	11.60	10.40	7.78	6.04	0.138	0.166
Pushup(a)	2.33	3.88	4.02	5.00	0.091**	0.065**
Curlu	8.26	10.64	9.50	8.80	0.038*	0.047*
Trunklift	7.40	8.45	2.22	1.76	0.115	0.106
Bsl(a)	7.53	8.93	2.79	2.91	0.002*	0.003*
Bsr	8.06	9.00	2.65	2.67	0.099**	0.115
Cuerda	33.66	38.18	26.19	25.40	0.317	0.142
Puntería	1.86	1.56	1.45	1.59	0.480	0.468
Vel	11.16	11.46	1.45	1.39	0.364	0.394
Long(a)	119.73	123.04	30.77	17.39	0.658	0.221
Evidencia de distribución no normal (a)						
Significativo * $\alpha = 0.05$						
Significativo ** $\alpha = 0.10$						

Los resultados de la tabla 4 muestran que las variables fat, trunklift, bsl, cuerda y long fueron significativamente diferentes a sus muestras posteriores en el nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. En el nivel de significativa de $\alpha = 0.10$ la variable que salió significativa es Curlu.

En la tabla 5 y 6 se presentan los resultados del género Femenino $n = 13$ y Masculino $n = 10$ empleando las pruebas antes mencionadas.

Tabla 5. Resultado del análisis univariado género femenino

Variable	Media		Desv. Estándar		Pruebas pareadas Valores P	
	Pre	Pos	Pre	Pos	T student	Wilcoxon
fat	42.98	33.74	10.71	10.68	0.000006*	0.003*
Bmi	20.80	21.15	4.60	3.21	0.762	0.541
Pacer	14.61	17.23	9.56	13.68	0.312	0.637
Pushup	3.76	4.76	5.46	5.80	0.166	0.234
Curlu	11.76	12.84	11.67	8.90	0.617	0.637
Trunklift	6.80	10.23	2.52	3.21	0.017*	0.016*
Bsl(a)	9.00	9.96	2.71	2.56	0.017*	0.010*
Bsr	9.38	9.96	2.63	2.43	0.246	0.259
Cuerda	42.92	47.46	23.85	21.55	0.074**	0.068**
Puntería	2.15	2.00	1.81	1.77	0.687	0.773
Vel	11.28	10.87	1.62	1.23	0.389	0.454
Long	107.69	126.5	41.69	16.51	0.086**	0.026**
Evidencia de distribución no normal (a)						
Significativo * $\alpha = 0.05$						
Significativo ** $\alpha = 0.10$						

En la tabla se muestra como el género femenino se desarrolló en la intervención de *Exergaming* y las variables significantes fueron fat, trunklift y bsl en el nivel de $\alpha = 0.05$

En el nivel de significancia de $\alpha = 0.10$ se encuentran las variables Cuerda y Long.

Tabla 6. Resultado del análisis univariado género Masculino

Variable	Media		Desv. Estándar		Pruebas pareadas Valores P	
	Pre	Pos	Pre	Pos	T student	Wilcoxon
fat	37.40	33.74	11.20	7.50	0.106	0.0972**
Bmi	21.26	20.35	3.92	4.09	0.336	0.528
Pacer(a)	11.30	11.90	5.16	9.65	0.772	0.361
Pushup	1.70	1.60	2.79	1.89	0.853	0.915
Curly	5.70	10.20	6.51	10.00	0.013*	0.010*
Trunklift	6.95	9.05	2.67	3.40	0.071**	0.045*
Bsl	6.65	7.2	2.51	2.69	0.395	0.601
Bsr	7.05	7.70	2.14	2.35	0.337	0.396
Cuerda(a)	20.1	26.9	19.83	24.29	0.127	0.037
Puntería	3.00	3.00	1.33	1.94	1.00	1.00
Vel	11.85	11.51	1.55	1.87	0.551	0.492
Long	100.00	124.85	36.88	20.32	0.107	0.130
Evidencia de distribución no normal (a)						
Significativo * $\alpha = 0.05$						
Significativo ** $\alpha = 0.10$						

En el género masculino se observa que las variables que son significantes en el nivel de $\alpha = 0.05$ es Curly. Y en el nivel de $\alpha = 0.10$ las variables fat y trunklift.

La evaluación de la intervención de *Exergaming* con respecto al género se valida que las niñas en edad escolar tienen mayor respuesta en su acondicionamiento físico y su disminución de porcentaje de grasa, ya que son las que se evidencian con más variables que salieron significantes con respecto a los niños.

Análisis multivariados

Se analizaron los conjuntos mediante los componentes ya antes mencionados utilizando las comparaciones pareadas multivariadas de medias, a los componentes por separado. El tratamiento se basa en someter a los sujetos de prueba a las rutinas de *Exergaming*. Así también los datos fueron las observaciones de cada variable previa y posterior al tratamiento.

El vector de medias de las diferencias para el componente Corporal ($X_{1jp} - X_{2jp}$), entre las pruebas previas y posteriores, es $\mathbf{X}' = [6.81587, 0.20000]$. Un valor positivo para las diferencias indica una disminución de los scores obtenidos posteriormente. Un valor negativo indica un incremento.

El estadístico T^2 de Hotelling calculado fue 32.61887. Así mismo también se encontró que el umbral de la región crítica es

$$\frac{(n-1)p}{n-p} F_{p,n-p}(\alpha) = 7.263772 \quad (9)$$

Dado que $T^2 = 32.61887 > 7.26377$, se rechaza H_0 , y se concluye que “hay una diferencia promedio entre los dos tratamientos”. Por lo tanto, para el componente corporal y el conjunto de variables “porcentaje de grasa” e “índice de masa corporal”, sus scores promedios obtenidos por los sujetos en las pruebas posteriores, fueron significativamente menores.

El componente Fuerza-Resistencia Muscular y su vector de medias de las diferencias ($X_{1jp} - X_{2jp}$), entre las pruebas previas y posteriores, es $\mathbf{X}' = [-0.5217391, -2.5652174, -2.8478261]$. Un valor negativo indica un incremento.

El estadístico T^2 de Hotelling calculado fue 14.82049. Así mismo también se encontró que el umbral de la región crítica es

$$\frac{(n-1)p}{n-p} F_{p,n-p}(\alpha) = 10.22469 \quad (10)$$

Dado que $T^2 = 14.82049 > 10.22469$, se rechaza H_0 , y se concluye que “hay diferencia promedio entre los dos tratamientos”. Es decir que para el componente Fuerza-Resistencia Muscular y sus variables “pushup”, “curly” y “trunklift” fueron sus scores promedios obtenidos fueron significativamente mayores en las pruebas posteriores.

El componente Flexibilidad y su vector de medias de las diferencias ($X_{1jp} - X_{2jp}$), entre las pruebas previas y posteriores, es $\mathbf{X}' = [-0.7826087, -0.6086957]$ Un valor negativo indica un incremento.

El estadístico T^2 de Hotelling calculado fue 5.747425. Así mismo también se encontró que el umbral de la región crítica es

$$\frac{(n-1)p}{n-p} F_{p,n-p}(\alpha) = 7.263772 \quad (11)$$

Dado que $T^2 = 5.747425 < 7.263772$, no se rechaza H_0 , y se concluye que “no hay una diferencia promedio entre los dos tratamientos”. Es decir que el conjunto de variables “Bsl” y “Bsr” del componente flexibilidad, no hay diferencia entre sus scores obtenidos por los sujetos en las pruebas posteriores con respecto a las obtenidas en las pruebas previas.

El componente Psicomotriz y su vector de medias de las diferencias ($X_{1jp} - X_{2jp}$), entre las pruebas previas y posteriores, es $\mathbf{X}' = [-5.52173913, 0.08695652, 0.38173913, -21.43478261]$, Un valor positivo para las diferencias indica una disminución de los scores obtenidos posteriormente. Un valor negativo indica un incremento.

El estadístico T^2 de Hotelling calculado fue 28.2337. Así mismo también se encontró que el umbral de la región crítica es

$$\frac{(n-1)p}{n-p} F_{p,n-p}(\alpha) = 13.40892 \quad (12)$$

Dado que $T^2 = 28.2337 > 13.40892$, se rechaza H_0 , y se concluye que “si hay diferencia promedio entre los dos tratamientos”. Es decir que el conjunto de variables “cuerda”, “puntería”, “vel” y “long” del componente Psicomotriz sus scores obtenidos de las pruebas posteriores fueron significativamente mayores a las pruebas previas.

La tabla 7 los valores p obtenidos de los componentes usando el estadístico T^2 de Hotelling.

Tabla 7 Resultados de T^2 de Hotelling.

Prueba	Valor p
Corporal	0.000071
Fuerza-Resistencia Muscular	0.0144
Flexibilidad	0.0874
Psicomotriz	0.0024

En la tabla se observa que en el nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, los componentes que se aceptan son corporal, fuerza-resistencia muscular y psicomotriz.

Para verificar los resultados del one-way y two-way MANOVA primero se realiza la prueba de normalidad multivariada al conjunto de datos. Que se presenta a continuación con una gráfica Chi-cuadrada.

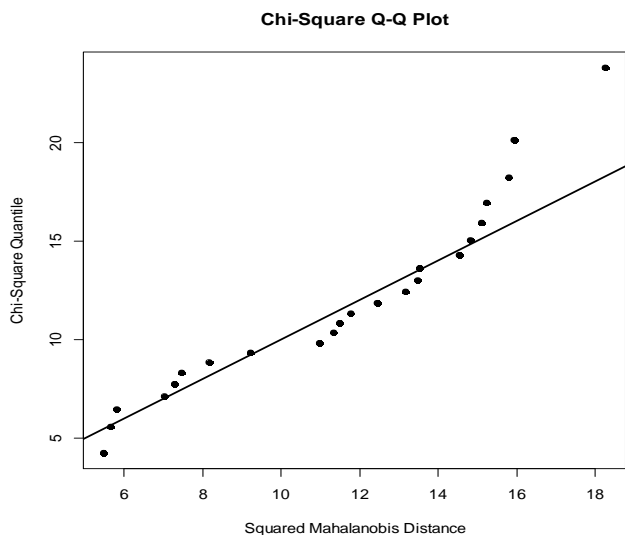


Fig.1 Grafica Chi-squared para normalidad multivariada de las 12 variables de los 23 sujetos

El resultado de la prueba es que los datos no tienen distribución normal multivariada, pero podemos apelar al teorema del límite central como se muestra en los supuestos que debe cumplir el MANOVA.

La desviación moderada del supuesto de normalidad multivariada no afecta considerablemente las conclusiones[16]. Además muchas pruebas estadísticas se rigen por el supuesto de normalidad, la cual está basada en el vector de media muestral y este no será afectado por unos pocos outliers.[17]

La prueba one-way MANOVA se presenta en la figura 2, la matriz de las 12 variables y el tratamiento que es la prueba previa y la posterior dio este resultado

```

Df Wilks approx F num Df den Df Pr(>F)
treatments 1 0.60197 1.8184 12 33 0.0861 .
Residuals 44
---
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Fig.2 Resultados del MANOVA basado en el estadístico lambda de Wilks

El tratamiento Exergaming resultó significativo solo en $\alpha = 0.10$.

En el ANOVA resultaron significativas las variables “trunklift” y “fat” en el nivel de $\alpha = 0.05$. Para la prueba de homogeneidad de covarianzas se usó la prueba boxM el valor p fue de $= 0.170$. Hay evidencia de covarianzas homogéneas. Los residuales no siguen una distribución multivariada normal.

Adicionalmente se aplicó un One-way MANOVA cambiando el tratamiento de pruebas (previas y posteriores) a género (femenino y masculino), utilizando la matriz de las 12 variables

```

Df Wilks approx F num Df den Df Pr(>F)
treatments 1 0.50754 2.6683 12 33 0.01272 *
Residuals 44
---
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Fig. 3 Resultados del MANOVA basado en el estadístico lambda de Wilks

Resultado significativo, valor $p = 0.012$, se concluye que si existe un efecto en el tratamiento género (masculino/femenino) sobre la condición física de los sujetos. Existe evidencia que las variables pushup-tratamiento, bsl-tratamiento, bsr-tratamiento, cuerda- tratamiento, ellos son significativos.

Para el supuesto de homogeneidad de covarianza con la prueba boxM resultó el valor $p = 0.3456$. Lo cual evidencia que existen covarianzas homogéneas. Los residuales no siguen una distribución normal multivariada.

Utilizando el two-way MANOVA con la matriz de las 12 variables y la interacción sexo-tratamiento (pruebas previas y posteriores). El resultado se muestra a continuación

```

Df Wilks approx F num Df den Df Pr(>F)
sex 1 0.50044 2.57875 12 31 0.01678 *
treatments 1 0.59296 1.77336 12 31 0.09822 .
sex:treatments 1 0.85810 0.42718 12 31 0.94023
Residuals 42
---
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Fig.4 Resultados del two-way MANOVA basado en el estadístico lambda de Wilks

Resultado significativo el valor $p = 0.01$. Se concluye que si existe una interacción sexo sobre la condición física de los sujetos. Hay evidencias de las siguientes variables, pushup-sex, trunklift-tratamiento, bsl-sex, bsr-sex, cuerda-sex y fat-tratamiento son significativas.

Para el supuesto de homogeneidad de covarianza usando la prueba boxM resultó el valor $p = 0.163$. Hay evidencia de

covarianzas homogéneas. Los residuales no tienen una distribución normal multivariada.

Se hizo la prueba de Two-way MANOVA, con la matriz de las 12 variables y la interacción edad-tratamiento (pruebas previas y posteriores).

	Df	Wilks	approx F	num Df	den Df	Pr(>F)
age	1	0.63198	1.50432	12	31	0.1754
treatments	1	0.59693	1.74440	12	31	0.1046
age:treatments	1	0.88195	0.34578	12	31	0.9728
Residuals	42					

Fig. 5 Resultado de two-way MANOVA basado en el estadístico lambda de Wilks

Los valores p nos demuestra que no se rechaza H0, por lo tanto no existe la interacción de los efectos edad y pruebas prepos sobre la condición física de los sujetos. Las variables trunklift-tratamientos y fat-tratamientos son significativas en la prueba.

Para el supuesto de homogeneidad de covarianza usando la prueba de boxM da el valor p = 0.092. Se concluye que son covarianzas homogéneas. Los residuales no presentan una distribución normal multivariada.

La tercera prueba del two-way MANOVA se realizó con la matriz de las 12 variables y la interacción sexo-edad

	Df	Wilks	approx F	num Df	den Df	Pr(>F)
age	1	0.62892	1.52425	12	31	0.16814
sex	1	0.50590	2.52312	12	31	0.01894 *
age:sex	1	0.78905	0.69065	12	31	0.74762
Residuals	42					

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Fig. 6 Resultados del two-way MANOVA basado en el estadístico lambda de Wilks

Se encuentra evidencia del valor p = 0.018. Existe un efecto de la variable sexo sobre la condición física de los sujetos. Las variables pushup-sex, curlu-age, bsl-sex, bsr-sex, cuerda-sex son significativas.

El supuesto de homogeneidad de covarianzas utilizando la prueba boxM da el valor p = 0.2596. Hay evidencia de covarianzas homogéneas. Los residuales no cuentan con una distribución normal multivariada.

IV. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos sugieren cambios significativos en tres variables estudiadas, sugiriendo un aumento en la fuerza abdominal y miembros pélvicos, y una disminución en el porcentaje de grasa corporal en los sujetos de estudio. El análisis multivariado sugiere que los componentes Corporal, Fuerza-Resistencia Muscular y Psicomotriz existe una diferencia al inicio de las pruebas, asumimos que la intervención de Exergaming es exitosa. Por otra parte el componente Flexibilidad no fue significativo. Además de que el género influyen en la intervención de exergaming ya que hay una interacción de la variable sexo con la prueba previa y posterior.

Este estudio evidencia que el valor de las intervenciones de exergaming tiene en la facilitación de actividad física en

población escolar (6-12 años), al mostrar las variables que se encontraron significativas como porcentaje de grasa, y un aumento en abdominales y miembros pélvicos para el total de la población.

Así mismo también se comprueba que el género femenino tiene un mejor desarrollo en la intervención de Exergaming ya que en los resultados tienen mayor número de variable que salen significativas a comparación del género masculino.

Hay evidencia que apoya a las intervenciones de exergaming como herramientas complementarias de actividad física en población escolar.

El proyecto ha dado buenos resultados al establecer metodologías junto con scripts, ya que con la ayuda del asesor se han comprendido temas de los cuales no se tenía conocimiento, la falta de tiempo ha perjudicado al estudio al no cumplir con los análisis de cluster, así mismo se han obtenido nuevo conocimientos y habilidades gracias a la investigación. También ha impactado las decisiones respecto a la línea de estudio que he de seguir tomando la estadística como principal opción.

Se proponen hacer análisis de cluster puesto que no se llevaron a cabo por la falta de tiempo, para conocer la clasificación de las variables y su homogeneidad funcional. Además de explorar a fondo el comportamiento y desarrollo de la condición física del género y la edad en la intervención de Exergaming. Otro aspecto importante que ayudara a la investigación es mayor concentración en la captura de datos para que no existan discrepancias.

AGRADECIMIENTOS

Al equipo de colaboradores del Centro de Investigación en Ciencias Biomédicas, de la Universidad de Morelos (Gerardo Romo, Alejandra Guillen, Géner Avilés) por el desarrollo de los protocolos y pruebas de esta investigación, vinculada al proyecto 198554, financiado por Conacyt: "Desarrollo de Hardware en Laboratorio de Exergaming (Medición de Consumo de Calorías")

REFERENCIAS

- [1] C. Ogden, "About Child Obesity," 2012.
- [2] A. Christison and H. A. Khan, "Exergaming for Health: A Community-Based Pediatric Weight Management Program Using Active Video Gaming," *Clinical Pediatrics*, vol. 51, pp. 382-388, April 1, 2012.
- [3] C. Coor, "La Alimentación: Un planteamiento globalizador e interdisciplinar," *Aula Innovación Tecnológica.*, 2000.
- [4] M. Romero-Martínez, T. Shamah-Levy, A. Franco-Núñez, S. Villalpando, L. Cuevas-Nasu, J. P. Gutiérrez, and J. Á. Rivera-Dommarco, "Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012: diseño y cobertura," *Salud Pública de México*, vol. 55, pp. S332-S340, 2013.

- [5] B. W. Bailey and K. McInnis, "Energy cost of exergaming: A comparison of the energy cost of 6 forms of exergaming," *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, vol. 165, pp. 597-602, 2011.
- [6] A. Arntzen, "Game based learning to enhance cognitive and physical capabilities of elderly people: concepts and requirements," *World Acad Sci Eng Tech*, vol. 60, pp. 63-67, 2011.
- [7] C. University, "Canadian Exergaming Research " 2012.
- [8] USF, "USF Active Gaming Research Laboratory. ," 2012.
- [9] J. R. Ruiz, V. España Romero, J. Castro Piñero, E. G. Artero, F. B. Ortega, M. Cuenca García, D. Jiménez Pavón, P. Chillón, M. J. Girela Rejón, J. Mora, A. Gutiérrez, J. Suni, M. Sjöstrom, and M. J. Castillo, "Batería ALPHA-Fitness: test de campo para la evaluación de la condición física relacionada con la salud en niños y adolescentes," *Nutrición Hospitalaria*, vol. 26, pp. 1210-1214, 2011.
- [10] A. Bustamante, G. Beunen, and J. Maia, "Valoración de la aptitud física en niños y adolescentes: construcción de cartas percentílicas para la región central del Perú," *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, vol. 29, pp. 188-197, 2012.
- [11] T. C. Institute, *Fitnessgram and Activitygram Test Administration Manual-Updated 4th Edition*: Human Kinetics, 2010.
- [12] J. McKenna and N. Mutrie, "Emphasizing quality in qualitative papers," *Journal of Sports Science*, vol. 21, pp. 955-958, 2003.
- [13] R. C. Team, "R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2012," ed: ISBN 3-900051-07-0, 2012.
- [14] P. Elliott and G. Hawthorne, "Imputing missing repeated measures data: how should we proceed?," *Australian and New Zealand Journal of Psychiatry*, vol. 39, pp. 575-582, 2005.
- [15] R. E. Walpole, Myers, Raymond H., Myers Sharon L., Ye Keying *Probability & Statistics for Engineers & Scientists* 2012.
- [16] A. J. Richard and W. W. Dean, "Applied multivariate statistical analysis," *Prentice Hall, New York*, 2002.
- [17] D. M. Hawkins, *Identification of outliers* vol. 11: Springer, 1980.