

INSTITUTO TECNOLÓGICO AUTÓNOMO DE MÉXICO



Modelado y Optimización I

**Proyecto 2:  
Data Envelopment Analysis**

11 de junio de 2022.

Prof. Luis Antonio Moncayo Martínez

Leonela Simonne Arcos Sotelo 170875

María del Carmen Pliego San Martín 189708

Mauricio Verduzco Chavira 195106

## Índice

<b>Introducción</b>	3
Definición del problema	3
Objetivos	3
Resumen de resultados	4
<b>Base de datos</b>	4
Descripción de la base	4
Código en R	6
Código para seleccionar una columna	7
<b>Data Envelopment Analysis</b>	8
Definición de eficiencia y las variables	8
Base de datos con los valores seleccionados	9
Eficiencias	11
Cambios a variables	14
Modificación de entradas.	14
Modificación de salidas	18
Conjuntos de referencia	20
<b>Conclusiones</b>	23
<b>Referencias</b>	24
<b>Código de DEA en R</b>	25

# **1. Introducción**

## **a. Definición del problema**

Para el proyecto que se presenta en este reporte, se buscó trabajar con el modelo de Data Envelopment Analysis (DEA) aprendido en la clase de Modelado y Optimización I, además se usó el programa R para desarrollar el algoritmo y analizar la base de datos con la que se trabajó, que fue el Estudio Comparativo de Universidades Mexicanas, elaborado por la UNAM. Esta base toma en cuenta muchos parámetros para evaluar a las universidades, pero para efectos de este trabajo se hizo una selección de los datos que se utilizaron para evaluar sus eficiencias.

Lo que se hizo fue evaluar las eficiencias relativas de diferentes universidades en la República Mexicana con base en sus entradas y sus salidas. Más adelante se explicarán los datos que se tomaron en consideración.

El tema educativo es de gran importancia en todo el mundo. Constantemente se están buscando formas de mejorar la calidad de la educación que reciben los estudiantes. La educación superior que se imparte en las universidades ha tenido un desarrollo potencial desde la segunda mitad del siglo pasado, pues los estudiantes empezaron a ganar mucho poder sobre la opinión pública. Tanto la educación pública como la privada se han desarrollado para brindar lo mejor a la sociedad.

Desde un enfoque particular hacia México, en el país se tienen instituciones de educación pública desde el nivel educativo básico hasta el superior. Pero la educación privada también tiene una fuerte presencia porque algunas veces la calidad de la educación pública no cumple con las expectativas. Por este motivo el análisis combina ambos ámbitos y se busca la eficiencia de manera individual.

Con este trabajo se pretende mostrar las potencialidades que tienen las herramientas de gestión, como DEA, para aplicarlas en distintos ámbitos de índole privada y/o pública y que esto lleve a una mejor administración de instituciones. En este caso específico se puede ver si el nivel de programas y de personal tiene algún efecto sobre los resultados que reflejan las universidades y ver qué cambios pueden hacerse para que se alcancen resultados de eficiencia óptimos.

## **b. Objetivos**

El proyecto consistió en aplicar el modelo DEA para las universidades y así lograr los siguientes objetivos:

- Identificar las eficiencias relativas y los grupos de referencia de cada universidad.
- Una vez obtenidas las eficiencias, en caso de no serlo, identificar los posibles cambios que se pueden hacer a las entradas o a las salidas para volverlo eficiente.

Además, se hizo uso del lenguaje de programación R, el cual utilizamos para hacer la limpieza de la base. Con esto se cumplió el objetivo de manejar bases de datos en R.

### **c. Resumen de resultados**

El análisis del proyecto se hizo general, es decir, se revisó cada universidad de forma individual. Pero, para ahondar un poco más en los resultados, se buscó desde el inicio hacer una partición de los datos, por eso se eligieron diez universidades públicas y diez privadas. Con base en esta catalogación, se compararon los resultados para ver si se podía notar cierta tendencia en cuanto a la eficiencia de cada ámbito. A partir de esto, se pudieron observar los resultados que aquí se explican.

El modelo DEA mostró que las universidades más eficientes en general resultaron ser las universidades públicas, dejando bastante trabajo que hacer a las universidades privadas. De la muestra de 10 universidades públicas únicamente 3 resultaron ser ineficientes. Por el lado de las universidades privadas únicamente dos resultaron ser eficientes. En busca de la eficiencia se modificaron las entradas y las salidas. Al modificar las entradas las universidades privadas deberían reducir el número de docentes y programas académicos, siendo el Sistema Universidad La Salle A.C. la que más trabajo tiene. Por otro lado, al modificar las salidas se debe trabajar principalmente en el número de publicaciones.

## **2. Base de datos**

### **a. Descripción de la base**

Las universidades fueron seleccionadas arbitrariamente tratando de encontrar un balance entre las privadas y las públicas. Además, tratamos de escoger las universidades conocidas y que tienen cierto nivel de prestigio. Esta es la lista de las universidades utilizadas:

Privadas:

- Universidad de las Américas Puebla, AC.
- Instituto Tecnológico Autónomo de México.
- Universidad de Monterrey.
- Universidad Autónoma de Guadalajara.

- Universidad popular autónoma del Estado de Puebla.
- Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente.
- Sistema Universidad Iberoamericana.
- Universidad Panamericana.
- Sistema Universidad la Salle, AC.
- Sistema Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

Públicas:

- El Colegio de México.
- Universidad Autónoma de la Ciudad de México.
- Universidad del Ejército y Fuerza Aérea.
- Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Universidad Autónoma Metropolitana.
- Universidad Autónoma del Estado de México.
- Universidad de Guadalajara.
- Instituto Politécnico Nacional.

Los criterios de eficiencia también se eligieron arbitrariamente. Estos fueron:

Entradas:

- El número de personal.
- La cantidad de programas.

Salidas:

- SNI: Sistema nacional de investigadores. Número de docentes integrados al SNI.
- PRODEP: Programa para el Desarrollo Profesional Docente, para el Tipo Superior. Número de maestros PRODEP en la institución.
- PNPC: Programa Nacional de Posgrados de Calidad. El número de reconocimientos de PNPC por universidad.
- WoS: Web of Science. Se mide el número de publicaciones.
- SCOPUS: Base de datos bibliográfica de resúmenes y citas de artículos de revistas científicas. Con este elemento se tomó en cuenta el número de publicaciones.
- Patente solicitada. Número de patentes solicitadas.
- Patente aprobada. Número de patentes aprobadas.

- COPAES: Consejo para la Acreditación de la Educación Superior A.C. Número de reconocimientos de programas académicos de educación superior que ofrecen las instituciones.

Originalmente la limpieza de la base se había hecho en Excel porque se buscó acabar el proyecto lo más rápido posible, pero una vez terminado, se trató de usar R para hacer todas las modificaciones necesarias, desde la limpieza hasta el cambio de variables para volver a las universidades eficientes.

## b. Código en R

A continuación, se muestra el código completo que se utilizó:

```
library(Benchmarking)
library(readxl)
library(tibble)

#LIMPIEZA Y CARGA DE DATOS
data <- read.csv("execum62a210f4bd249.csv", na.strings=c("-", "NA", " ", ""))
data[is.na(data)] <- 0
View(data)

data <- data[c(-1, -2, -3, -4, -5, -6, -7), c(-3, -5, -7, -9, -11, -13, -15, -17, -19, -21)]

colnames(data)[1] <- "INSTITUCIONES"
colnames(data)[2] <- "DOCENTES"
colnames(data)[3] <- "PROGRAMAS"
colnames(data)[4] <- "SNI"
colnames(data)[5] <- "PRODEP"
colnames(data)[6] <- "WOS"
colnames(data)[7] <- "SCOPUS"
colnames(data)[8] <- "PATENTES_SOLICITADAS"
colnames(data)[9] <- "PATENTES_OTORGADAS"
colnames(data)[10] <- "PNPC"
colnames(data)[11] <- "COPAES"

rownames(data)[1:20] <- 1:20

Tipo <- c(0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0)

data <- add_column(data, Tipo, .after = "INSTITUCIONES")
```

```

colnames(data)[1] <- "INSTITUCIONES"
colnames(data)[2] <- "DOCENTES"
colnames(data)[3] <- "PROGRAMAS"
colnames(data)[4] <- "SNI"
colnames(data)[5] <- "PRODEP"
colnames(data)[6] <- "WOS"
colnames(data)[7] <- "SCOPUS"
colnames(data)[8] <- "PATENTES_SOLICITADAS"
colnames(data)[9] <- "PATENTES_OTORGADAS"
colnames(data)[10] <- "PNPC"
colnames(data)[11] <- "COPAES"

rownames(data)[1:20] <- 1:20

Tipo <- c(0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0)

data <- add_column(data, Tipo, .after = "INSTITUCIONES")

data[data == "NA"] <- 0
data[data == "-"] <- 0
data[is.na(data)] <- 0

View(data)
data<- transform(data, DOCENTES=as.numeric(DOCENTES), PROGRAMAS=as.numeric(PROGRAMAS), SNI=as.numeric(SNI), PRODEP=as.numeric(PRODEP),
WOS=as.numeric(WOS), SCOPUS=as.numeric(SCOPUS), PATENTES_SOLICITADAS=as.numeric(PATENTES_SOLICITADAS),
PATENTES_OTORGADAS=as.numeric(PATENTES_OTORGADAS), PNPC=as.numeric(PNPC), COPAES=as.numeric(COPAES))

#Eficiencia de entradas y salidas
v_Inputs <- with(data, cbind(DOCENTES, PROGRAMAS)) #entradas
u_Outputs <- with(data, cbind(SNI, PRODEP, WOS, SCOPUS, PATENTES_SOLICITADAS, PATENTES_OTORGADAS, PNPC, COPAES)) #salidas
universidades <- dea(v_Inputs, u_Outputs, SLACK = TRUE, DUAL = TRUE, RTS = "crs", ORIENTATION = "in")
RES <- data.frame(data$INSTITUCIONES, data$Tipo, universidades$eff, universidades$lambda)

#Modificar entradas
Personal_2<- data.frame(data$DOCENTES*RES$universidades.eff)
Programa_2<- data.frame(data$PROGRAMAS*RES$universidades.eff)
Mod_inputs<- cbind(data$INSTITUCIONES,data$Tipo,Personal_2,Programa_2, data$SNI, data$PRODEP,data$WOS, data$SCOPUS,
data$PATENTES_SOLICITADAS,data$PATENTES_OTORGADAS,data$PNPC,data$COPAES)
colnames(Mod_inputs)<- c("INSTITUCIONES_IN", "Tipo_IN", "DOCENTES_IN", "PROGRAMA_IN", "SNI_IN", "PRODEP_IN", "WOS_IN", "SCOPUS_IN",
"PATENTES_SOLICITADAS_IN", "PATENTES_APROBADAS_IN",
"PNPC_IN", "COPAES_IN")

#Eficiencia nuevas entradas
v_Inputs <- with(Mod_inputs, cbind(DOCENTES_IN, PROGRAMA_IN)) #entradas
u_Outputs <- with(Mod_inputs, cbind(SNI_IN, PRODEP_IN, WOS_IN, SCOPUS_IN, PATENTES_SOLICITADAS_IN, PATENTES_APROBADAS_IN, PNPC_IN, COPAES_IN)) #salidas
universidadesI <- dea(v_Inputs, u_Outputs, SLACK = TRUE, DUAL = TRUE, RTS = "crs", ORIENTATION = "in")
RESIN <- data.frame(data$INSTITUCIONES, data$Tipo, universidadesI$eff, universidadesI$lambda)

#Modificar salidas
SNI_2<- data.frame(data$SNI*(1/RES$universidades.eff))
PRODEP_2<- data.frame(data$PRODEP*(1/RES$universidades.eff))
WOS<- data.frame(data$WOS*(1/RES$universidades.eff))
SCOPUS<- data.frame(data$SCOPUS*(1/RES$universidades.eff))
P.Solicitudes<- data.frame(data$PATENTES_SOLICITADAS*(1/RES$universidades.eff))
P.Aprobadas<- data.frame(data$PATENTES_OTORGADAS*(1/RES$universidades.eff))
PNPC_2<- data.frame(data$PNPC*(1/RES$universidades.eff))
COPAES_2<- data.frame(data$COPAES*(1/RES$universidades.eff))
Mod_output<- cbind(data$INSTITUCIONES,data$Tipo,data$DOCENTES,data$PROGRAMAS, SNI_2, PRODEP_2,WOS, SCOPUS, P.Solicitudes, P.Aprobadas,PNPC_2,COPAES_2)
colnames(Mod_output)<- c("Instituciones", "Tipo", "Personal", "Programas", "SNI", "PRODEP", "WOS", "SCOPUS", "P.Solicitudes", "P.Aprobadas",
"PNPC", "COPAES")

#Eficiencia nuevas salidas
v_Inputs <- with(Mod_output, cbind(Personal,Programas)) #entradas
u_Outputs <- with(Mod_output, cbind(SNI, PRODEP, WOS, SCOPUS, P.Solicitudes, P.Aprobadas, PNPC, COPAES)) #salidas
universidades0 <- dea(v_Inputs, u_Outputs, SLACK = TRUE, DUAL = TRUE, RTS = "crs", ORIENTATION = "in")
REOUT <- data.frame(data$INSTITUCIONES, data$Tipo, universidades0$eff, universidades0$lambda)

```

En el anexo A se muestra el código formato de texto por si el interesado desea replicar el procedimiento.

### c. Código para seleccionar una columna

En específico para seleccionar las columnas lo que se hizo fue llamar a la base y especificar la variable. Por ejemplo, `base$Instituciones`, entonces R usa la columna Instituciones de los datos que están en “base”. Posteriormente si se quiere realizar una operación entre columnas, R va realizando la operación por renglón.

De manera más específica,

```
Personal_2<- data.frame(data$DOCENTES*RES$universidades.eff)
Programa_2<- data.frame(data$PROGRAMAS*RES$universidades.eff)
```

En esa línea del código se multiplicaron los datos del Personal docente y programas académicos por la eficiencia de las universidades.

En el otro caso,

```
SNI_2<- data.frame(data$SNI*(1/RES$universidades.eff))
PRODEP_2<- data.frame(data$PRODEP*(1/RES$universidades.eff))
WOS<- data.frame(data$WOS*(1/RES$universidades.eff))
SCOPUS<- data.frame(data$SCOPUS*(1/RES$universidades.eff))
P.Solicitudes<- data.frame(data$PATENTES_SOLICITADAS*(1/RES$universidades.eff))
P.Aprobadas<- data.frame(data$PATENTES_OTORGADAS*(1/RES$universidades.eff))
PNPC_2<- data.frame(data$PNPC*(1/RES$universidades.eff))
COPAES_2<- data.frame(data$COPAES*(1/RES$universidades.eff))
```

La línea de código anterior muestra la división de cada variable de salida entre la eficiencia de las universidades.

Es importante mencionar que los resultados se fueron guardando en un data.frame para poder juntarlos en una tabla después.

### 3. Data Envelopment Analysis

#### a. Definición de eficiencia y las variables

Se utilizó una orientación “in” para realizar cálculos, lo cual significa que las entradas se quedan constantes en el cálculo de las eficiencias relativas. En este caso las entradas fueron el número de personal y la cantidad de programas.

Lo que se está evaluando con las entradas y las salidas seleccionadas y explicadas anteriormente, es que el número de personal y de programas vaya de acuerdo con los resultados obtenidos por cada universidad. Es decir, se esperaría que a mayor número de personal y/o programas, se tuvieran más publicaciones, más programas de excelencia, más patentes solicitadas o aceptadas, investigadores, personal profesional o acreditaciones. Si el número de docente y programas no va de acuerdo con los resultados obtenidos, se obtienen eficiencias menores al 100% y es en estos casos en los que se tienen que hacer los cambios pertinentes a las variables para proponer soluciones que mejoren el desempeño de las instituciones.



## b. Base de datos con los valores seleccionados

Esta tabla muestra los datos que se utilizaron para el análisis. La limpieza de la base se hizo en R, la tabla posterior a la limpieza se ve así:

INSTITUCIONES	Tipo	DOCENTES	PROGRAMAS	SNI	PRODEP	WOS	SCOPUS	PATENTES_SOLICITADAS	PATENTES_OTORGADAS	PNPC	COPAES
EL COLEGIO DE MEXICO	0	254	18	195	31	89	50	0	0	15	2
UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS PUEBLA, AC	1	634	125	91	0	82	79	0	2	4	51
INSTITUTO TECNOLÓGICO AUTÓNOMO DE MÉXICO	1	687	33	95	0	86	60	0	0	1	5
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO	0	830	64	107	0	71	57	0	0	1	0
UNIVERSIDAD DEL EJÉRCITO Y FUERZA AEREA	0	874	68	5	0	8	1	0	1	0	6
UNIVERSIDAD DE MONTERREY	1	964	112	64	0	69	71	1	0	6	22
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUADALAJARA	1	1217	196	21	0	35	31	3	0	0	20
UNIVERSIDAD POPULAR AUTÓNOMA DEL ESTADO DE ...	1	1251	217	47	0	66	52	11	1	14	36
INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORE...	1	1452	66	43	0	33	26	11	2	10	25
SISTEMA UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA	1	1958	321	143	0	269	235	3	3	25	28
UNIVERSIDAD PANAMERICANA	1	2063	218	115	0	119	105	0	0	3	15
BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA	0	4129	268	671	214	780	705	148	61	66	52
SISTEMA UNIVERSIDAD LA SALLE, AC	1	4736	515	46	0	71	66	2	1	4	29
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN	0	5796	268	804	244	688	639	148	69	134	65
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA	0	5923	194	1163	264	933	842	46	42	75	37
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO	0	6620	333	520	220	484	411	15	4	67	111
SISTEMA INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS S...	1	9477	855	518	0	722	686	130	104	54	37
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA	0	9775	536	1162	512	892	814	22	12	187	127
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL	0	10108	246	1210	0	2235	1615	154	85	106	54
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	0	32406	476	4746	0	5231	5958	236	197	193	111

La limpieza de los datos se realizó en distintas etapas. Primero, se cargó la base de datos y se reemplazaron los “-” por “NA”. Segundo, se transformaron todos los “NA” en 0 valores de 0. Tercero, se arregló la tabla eliminando las columnas y renglones que no se requerían y la base traía al descargar. Cuarto, se nombraron las columnas con los nombres más adecuados. Quinto, se elaboró un vector llamado “Tipo” que nos permitió identificar las instituciones con un valor de 0 si son públicas y 1 en caso de ser privadas. Esta última columna fue adherida a la tabla inicial, antes de la columna DOCENTES. Por último, se transformaron las variables a `as.numeric` para poder realizar el análisis, ya que en `character` no es posible.

```
#LIMPIEZA Y CARGA DE DATOS
data <- read.csv("execum62a210f4bd249.csv", na.strings=c("-", "NA", " ", ""))
data[is.na(data)] <- 0
View(data)

data <- data[c(-1, -2, -3, -4, -5, -6, -7), c(-3, -5, -7, -9, -11, -13, -15, -17, -19, -21)]

colnames(data)[1] <- "INSTITUCIONES"
colnames(data)[2] <- "DOCENTES"
colnames(data)[3] <- "PROGRAMAS"
colnames(data)[4] <- "SNI"
colnames(data)[5] <- "PRODEP"
colnames(data)[6] <- "WOS"
colnames(data)[7] <- "SCOPUS"
colnames(data)[8] <- "PATENTES_SOLICITADAS"
colnames(data)[9] <- "PATENTES_OTORGADAS"
colnames(data)[10] <- "PNPC"
colnames(data)[11] <- "COPAES"

rownames(data)[1:20] <- 1:20

Tipo <- c(0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0)

data <- add_column(data, Tipo, .after = "INSTITUCIONES")

data[data == "NA"] <- 0
data[data == "-"] <- 0
data[is.na(data)] <- 0
```

```
View(data)
data<- transform(data, DOCENTES=as.numeric(DOCENTES), PROGRAMAS=as.numeric(PROGRAMAS), SNI=as.numeric(SNI),
  PRODEP=as.numeric(PRODEP),WOS=as.numeric(WOS), SCOPUS=as.numeric(SCOPUS),
  PATENTES_SOLICITADAS=as.numeric(PATENTES_SOLICITADAS),
  PATENTES_OTORGADAS=as.numeric(PATENTES_OTORGADAS), PNPC=as.numeric(PNPC), COPAES=as.numeric(COPAES))
```

## c. Eficiencias

En un inicio las líneas de código que se utilizaron para obtener las eficiencias fueron:

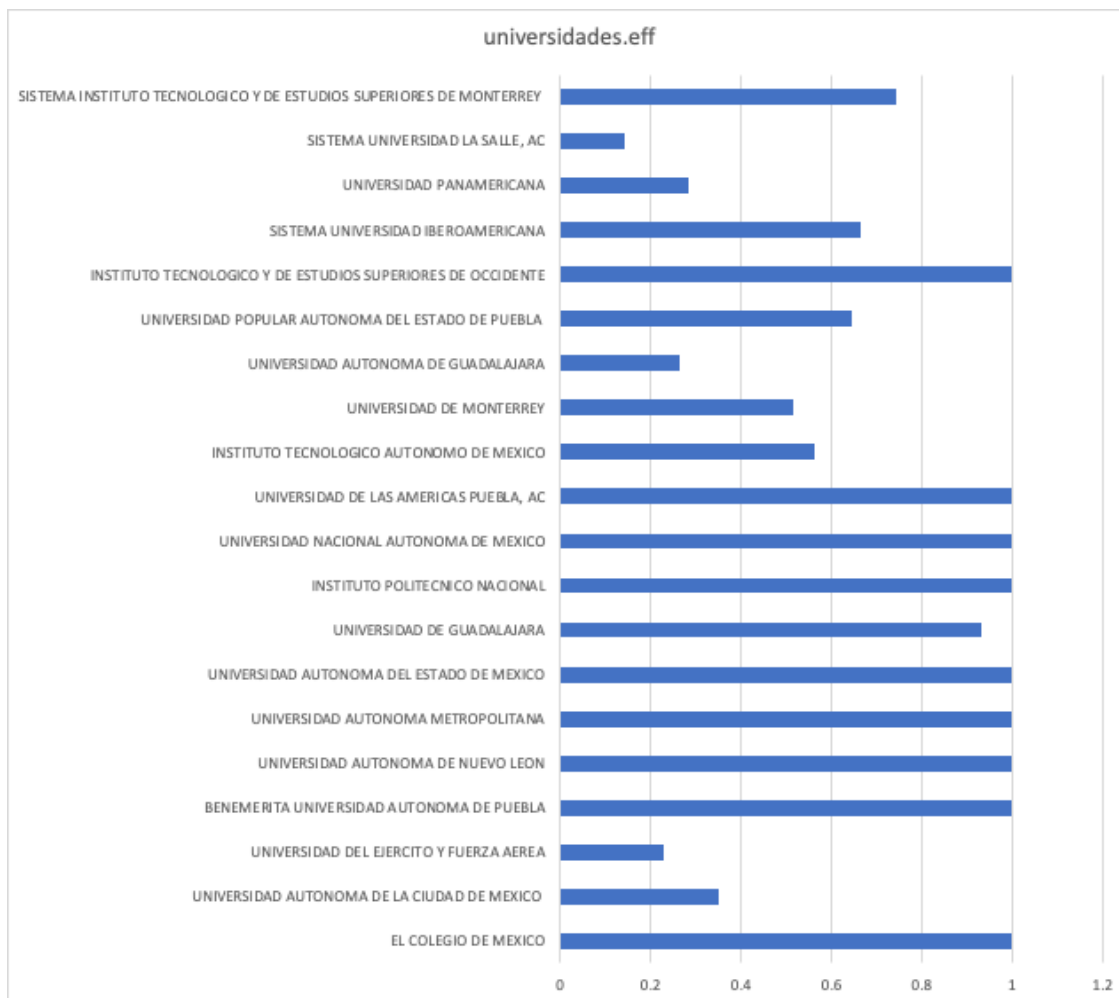
```
#Eficiencia
v_Inputs <- with(data, cbind(DOCENTES, PROGRAMAS)) #entradas
u_Outputs <- with(data, cbind(SNI, PRODEP, WOS, SCOPUS, PATENTES_SOLICITADAS, PATENTES_OTORGADAS, PNPC, COPAES)) #salidas
universidades <- dea(v_Inputs, u_Outputs, SLACK = TRUE, DUAL = TRUE, RTS = "crs", ORIENTATION = "in")
RES <- data.frame(data$INSTITUCIONES, data$Tipo, universidades$eff, universidades$lambda)
```

Las eficiencias iniciales que obtuvimos son:

data.INSTITUCIONES	data.Tipo	universidades.eff	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18	L19	L20
EL COLEGIO DE MEXICO	0	1.0000000	1.0000000	0.00000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.00000000	0	0.000000000	0.00000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.000000000
UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS PUEBLA, AC	1	1.0000000	0.0000000	1.00000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.00000000	0	0.000000000	0.00000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.000000000
INSTITUTO TECNOLOGICO AUTONOMO DE MEXICO	1	0.5630551	0.2764926	0.06127929	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.00000000	0	0.000000000	0.00000000	0.0000000	0	0	0.0191171	0.002607636
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE LA CIUDAD DE MEXICO	0	0.3488675	1.1400000	0.00000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.00000000	0	0.000000000	0.00000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.000000000
UNIVERSIDAD DEL EJERCITO Y FUERZA AEREA	0	0.2281679	0.0000000	0.10900763	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.00000000	0	0.000000000	0.00000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.003969466
UNIVERSIDAD DE MONTERREY	1	0.5160385	0.1180561	0.40033234	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.00000000	0	0.013623856	0.00000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.004156646
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA	1	0.2643644	0.0000000	0.37106389	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.01860200	0	0.001668266	0.00000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.000000000
UNIVERSIDAD POPULAR AUTONOMA DEL ESTADO DE PUEBLA	1	0.6457685	0.4429112	0.61273162	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.07432432	0	0.000000000	0.00000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.000000000
INSTITUTO TECNOLOGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE	1	1.0000000	0.0000000	0.00000000	0	0	0	0	0	0	1.0000000	0	0	0.00000000	0	0.000000000	0.00000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.000000000
SISTEMA UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA	1	0.6640752	3.5925926	0.37037037	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.03703704	0	0.000000000	0.00000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.000000000
UNIVERSIDAD PANAMERICANA	1	0.2840175	1.7433110	0.22575251	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.00000000	0	0.000000000	0.00000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.000000000
BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA	0	1.0000000	0.0000000	0.00000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	1.00000000	0	0.000000000	0.00000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.000000000
SISTEMA UNIVERSIDAD LA SALLE, AC	1	0.1409080	0.0000000	0.50842358	0	0	0	0	0	0	0.1007609	0	0	0.00000000	0	0.000000000	0.00000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.004967340
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON	0	1.0000000	0.0000000	0.00000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.00000000	0	1.000000000	0.00000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.000000000
UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA	0	1.0000000	0.0000000	0.00000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.00000000	0	0.000000000	1.00000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.000000000
UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MEXICO	0	1.0000000	0.0000000	0.00000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.00000000	0	0.000000000	0.00000000	1.0000000	0	0	0.0000000	0.000000000
SISTEMA INSTITUTO TECNOLOGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY	1	0.7428096	0.0000000	0.00000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	1.70491803	0	0.000000000	0.00000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.000000000
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA	0	0.9304300	8.9725299	0.00000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.00000000	0	0.101999897	0.03125454	0.9123291	0	0	0.0000000	0.000000000
INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL	0	1.0000000	0.0000000	0.00000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.00000000	0	0.000000000	0.00000000	0.0000000	0	0	1.0000000	0.000000000
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	0	1.0000000	0.0000000	0.00000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.00000000	0	0.000000000	0.00000000	0.0000000	0	0	0.0000000	1.000000000

Para que la eficiencia resultará más sencilla de observar realizamos una gráfica que permite comparar la eficiencia de las universidades, de acuerdo a las variables elegidas.

Gráfica. Eficiencia de las universidades públicas y privadas



En la gráfica anterior se puede observar que la universidad La Salle, A.C. resulta ser la menos eficiente, seguida por la Universidad del Ejército y la Fuerza Aérea. Derivado a que se buscaron variables enfocadas en docentes en el ámbito de la investigación, publicaciones reconocidas de las universidades, y patentes aprobadas y solicitadas se puede soportar el hecho de que la Universidad del Ejército Y Fuerza Aérea no sea tan eficiente. Sin embargo, se esperaba que el ITAM fuera más eficiente. En el mismo sentido, el hecho de que la UNAM y el IPN sean universidades con eficiencia de 1 es relevante porque son considerados centros de investigación importantes en el país.

Por lo anterior, se realizaron modificaciones a las entradas. Es decir, para llegar a la eficiencia modificamos el personal y los programas académicos. Posteriormente, se modificaron las salidas.

## d. Cambios a variables

### i. Modificación de entradas.

Primero, modificamos las entradas, personal y programas académicos, con las siguientes líneas:

```
#Modificar entradas
Personal_2<- data.frame(data$DOCENTES*RES$universidades.eff)
Programa_2<- data.frame(data$PROGRAMAS*RES$universidades.eff)

Mod_inputs<- cbind(data$INSTITUCIONES,data$Tipo,Personal_2,Programa_2, data$SNI, data$PRODEP,data$WOS, data$SCOPUS,
                    data$PATENTES_SOLICITADAS,data$PATENTES_OTORGADAS,data$PNPC,data$COPAES)

colnames(Mod_inputs)<- c("INSTITUCIONES_IN", "Tipo_IN", "DOCENTES_IN", "PROGRAMA_IN", "SNI_IN", "PRODEP_IN", "WOS_IN", "SCOPUS_IN",
                        "PATENTES_SOLICITADAS_IN", "PATENTES_APROBADAS_IN",
                        "PNPC_IN", "COPAES_IN")
```

Los resultados de modificar las entradas son:

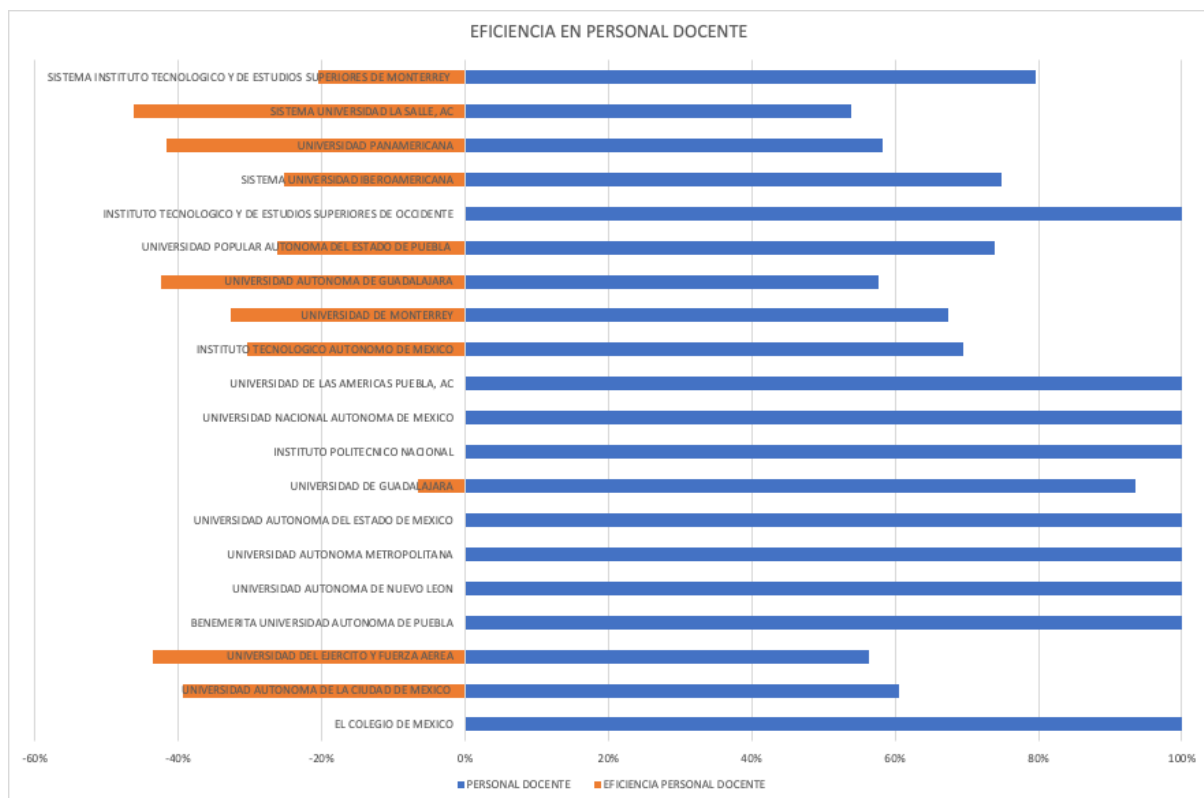
INSTITUCIONES_IN	Tipo_IN	DOCENTES_IN	PROGRAMA_IN	SNI_IN	PRODEP_IN	WOS_IN	SCOPUS_IN	PATENTES_SOLICITADAS_IN	PATENTES_APROBADAS_IN	PNPC_IN	COPAES_IN	ENTRANTES_APROBADAS_IN
EL COLEGIO DE MEXICO	0	254.0000	18.00000	195	31	89	50	15	2			0
UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS PUEBLA, AC	1	634.0000	125.00000	91	0	82	79	4	51			2
INSTITUTO TECNOLÓGICO AUTÓNOMO DE MEXICO	1	386.8189	18.58082	95	0	86	60	1	5			0
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MEXICO	0	289.5600	22.32752	107	0	71	57	1	0			0
UNIVERSIDAD DEL EJERCITO Y FUERZA AEREA	0	199.4188	15.51542	5	0	8	1	0	6			1
UNIVERSIDAD DE MONTERREY	1	497.4611	57.79631	64	0	69	71	6	22			0
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUADALAJARA	1	321.7315	51.81542	21	0	35	31	0	20			0
UNIVERSIDAD POPULAR AUTÓNOMA DEL ESTADO DE ...	1	807.8564	140.13177	47	0	66	52	14	36			1
INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORE...	1	1452.0000	66.00000	43	0	33	26	10	25			2
SISTEMA UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA	1	1300.2593	213.16814	143	0	269	235	25	28			3
UNIVERSIDAD PANAMERICANA	1	585.9281	61.91581	115	0	119	105	3	15			0
BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA	0	4129.0000	268.00000	671	214	780	705	66	52			61
SISTEMA UNIVERSIDAD LA SALLE, AC	1	667.3403	72.56762	46	0	71	66	4	29			1
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEON	0	5796.0000	268.00000	804	244	688	639	134	65			69
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA	0	5923.0000	194.00000	1163	264	933	842	75	37			42
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MEXICO	0	6620.0000	333.00000	520	220	484	411	67	111			4
SISTEMA INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS S...	1	7039.6066	635.10221	518	0	722	686	54	37			104
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA	0	9094.9532	498.71048	1162	512	892	814	187	127			12
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL	0	10108.0000	246.00000	1210	0	2235	1615	106	54			85
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO	0	32406.0000	476.00000	4746	0	5231	5958	193	111			197

Posteriormente, obtuvimos las nuevas eficiencias, verificando que las universidades fueran eficientes:

```
v_Inputs <- with(Mod_inputs, cbind(DOCENTES_IN, PROGRAMA_IN)) #entradas
u_Outputs <- with(Mod_inputs, cbind(SNI_IN, PRODEP_IN, WOS_IN, SCOPUS_IN, PATENTES_SOLICITADAS_IN, PATENTES_APROBADAS_IN,
                                   PNPIC_IN, COPAES_IN)) #salidas
universidadesI <- dea(v_Inputs, u_Outputs, SLACK = TRUE, DUAL = TRUE, RTS = "crs", ORIENTATION = "in")
RESIN <- data.frame(data$INSTITUCIONES, data$Tipo, universidadesI$eff, universidadesI$lambda)
```

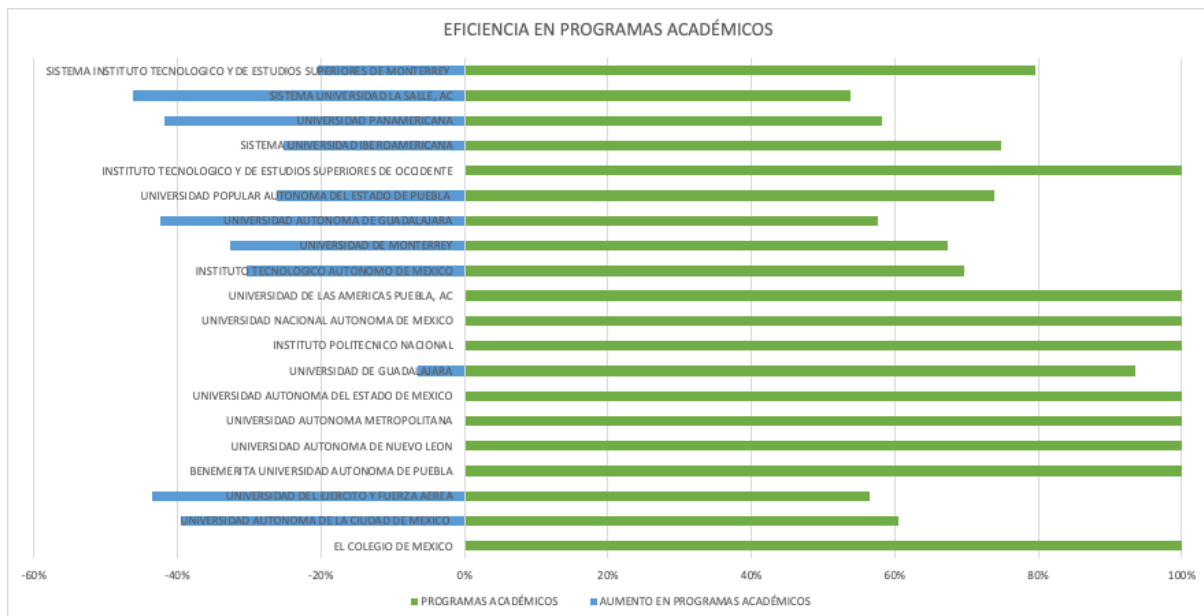
data.INSTITUCIONES	data.Tipo	universidadesI.eff	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18	L19	L20
EL COLEGIO DE MEXICO	0	1	1.0000000	0.0000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS PUEBLA, AC	1	1	0.0000000	1.0000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
INSTITUTO TECNOLÓGICO AUTÓNOMO DE MÉXICO	1	1	0.2764926	0.06127929	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0191171	0.002607636
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO	0	1	1.1400000	0.0000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
UNIVERSIDAD DEL EJÉRCITO Y FUERZA AEREA	0	1	0.0000000	0.10900763	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.003969466
UNIVERSIDAD DE MONTERREY	1	1	0.1180561	0.40033234	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	0.013623856	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.004156646
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUADALAJARA	1	1	0.0000000	0.37106389	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.01860200	0	0.001668266	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
UNIVERSIDAD POPULAR AUTÓNOMA DEL ESTADO DE ...	1	1	0.4429112	0.61273162	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.07432432	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORE...	1	1	0.0000000	0.0000000	0	0	0	0	0	0	1.0000000	0	0	0.0000000	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
SISTEMA UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA	1	1	3.5925926	0.37037037	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.03703704	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
UNIVERSIDAD PANAMERICANA	1	1	1.7433110	0.22575251	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA	0	1	0.0000000	0.0000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	1.0000000	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
SISTEMA UNIVERSIDAD LA SALLE, AC	1	1	0.0000000	0.50842358	0	0	0	0	0	0	0.1007609	0	0	0.0000000	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.004967340
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN	0	1	0.0000000	0.0000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	1.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA	0	1	0.0000000	0.0000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	0.0000000	1.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO	0	1	0.0000000	0.0000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	0.0000000	0.0000000	1.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
SISTEMA INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS S...	1	1	0.0000000	0.0000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	1.70491803	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA	0	1	8.9725299	0.0000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	0.101999897	0.03125454	0.9123291	0	0	0.0000000	0.0000000
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL	0	1	0.0000000	0.0000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	1.0000000	0.0000000
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	0	1	0.0000000	0.0000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	1.0000000

Los resultados relevantes de modificar las entradas se muestran en las siguientes gráficas. La gráfica de eficiencia de personal docente muestra en color naranja el número de docentes que se debería eliminar para llegar a la eficiencia. Es importante mencionar que la gráfica muestra el decremento en porcentaje del total de empleados que tiene cada universidad. Por lo tanto, se puede observar que el Sistema Universitario La Salle y la Universidad del Ejército y Fuerza Aérea tendrían que rescindir de bastante personal. Siendo la Universidad de Guadalajara la que menos porcentaje de personal docente debe eliminar.





Ahora en el aspecto de los programas académicos el aumento para llegar a la eficiencia vuelve a ser significativo para el Sistema Universidad La Salle. Es relevante ver que las universidades públicas: UNAM, UAM, IPN, Colmex muestran un adecuado número de programas, mientras que las universidades privadas lo deben reducir para ser más eficientes. Se debe recordar que el decremento debe ser de ambas variables para llegar a la eficiencia. Es decir, en caso de disminuir únicamente los programas académicos no sería suficiente.



## ii. Modificación de salidas

Para modificar la salidas se utilizaron las siguientes líneas de código:

```
SNI_2<- data.frame(data$SNI*(1/RES$universidades.eff))
PRODEP_2<- data.frame(data$PRODEP*(1/RES$universidades.eff))
WOS<- data.frame(data$WOS*(1/RES$universidades.eff))
SCOPUS<- data.frame(data$SCOPUS*(1/RES$universidades.eff))
P.Solicitudes<- data.frame(data$PATENTES_SOLICITADAS*(1/RES$universidades.eff))
P.Aprobadas<- data.frame(data$PATENTES_OTORGADAS*(1/RES$universidades.eff))
PNPC_2<- data.frame(data$PNPC*(1/RES$universidades.eff))
COPAES_2<- data.frame(data$COPAES*(1/RES$universidades.eff))

Mod_output<- cbind(data$INSTITUCIONES,data$Tipo,data$DOCENTES,data$PROGRAMAS, SNI_2, PRODEP_2,WOS, SCOPUS,
P.Solicitudes, P.Aprobadas,PNPC_2,COPAES_2)
colnames(Mod_output)<- c("Instituciones", "Tipo", "Personal", "Programas", "SNI", "PRODEP", "WOS", "SCOPUS", "P.Solicitudes",
"P.Aprobadas", "PNPC", "COPAES")
```

Los resultados de las modificaciones realizadas a las salidas son:

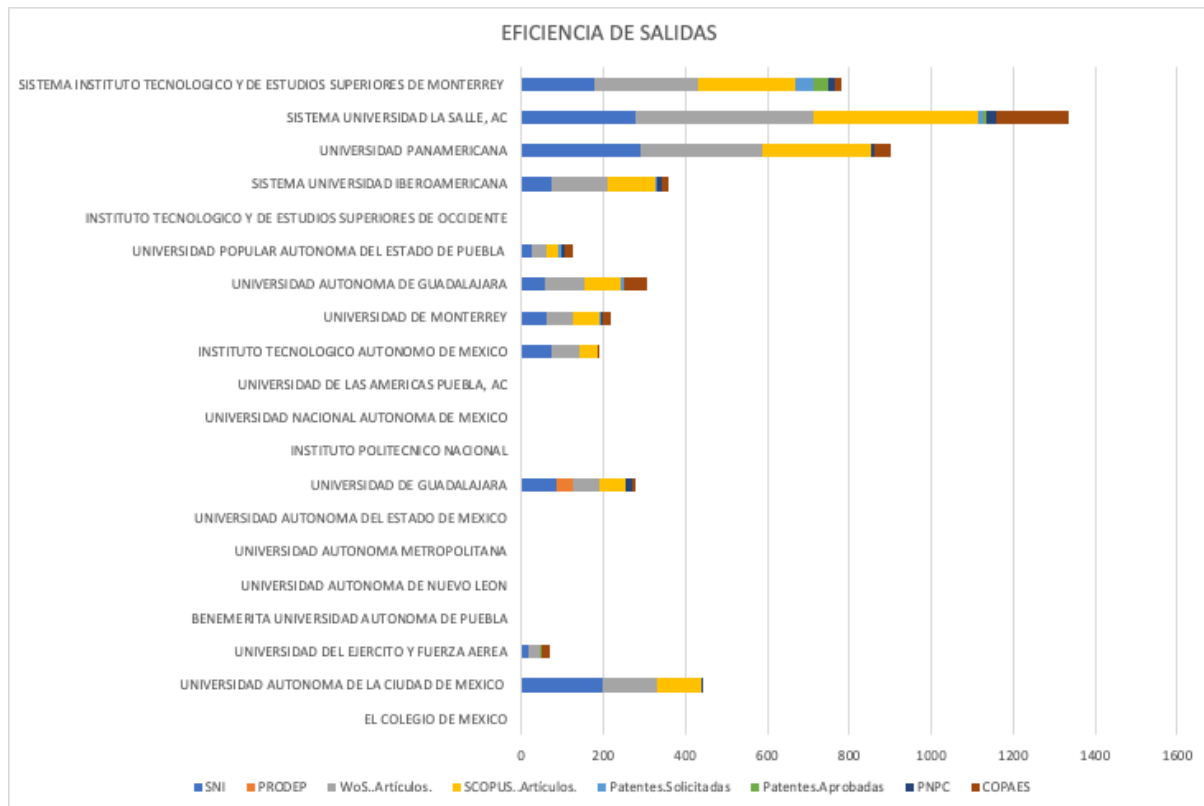
Instituciones	Tipo	Personal	Programas	SNI	PRODEP	WOS	SCOPUS	P.Solicitudes	P.Aprobadas	PNPC	COPAES
EL COLEGIO DE MEXICO	0	254	18	195.00000	31.0000	89.00000	50.000000	0.000000	0.000000	15.000000	2.000000
UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS PUEBLA, AC	1	634	125	91.00000	0.0000	82.00000	79.000000	0.000000	2.000000	4.000000	51.000000
INSTITUTO TECNOLOGICO AUTONOMO DE MEXICO	1	687	33	168.72238	0.0000	152.73815	106.561503	0.000000	0.000000	1.776025	8.880125
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE LA CIUDAD DE MEXICO	0	830	64	306.70673	0.0000	203.51568	163.385827	0.000000	0.000000	2.866418	0.000000
UNIVERSIDAD DEL EJERCITO Y FUERZA AEREA	0	874	68	21.91368	0.0000	35.06189	4.382737	0.000000	4.382737	0.000000	26.296420
UNIVERSIDAD DE MONTERREY	1	964	112	124.02176	0.0000	133.71096	137.586640	1.937840	0.000000	11.627040	42.632480
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA	1	1217	196	79.43581	0.0000	132.39302	117.262393	11.347973	0.000000	0.000000	75.653157
UNIVERSIDAD POPULAR AUTONOMA DEL ESTADO DE ...	1	1251	217	72.78150	0.0000	102.20380	80.524209	17.033967	1.548542	21.679595	55.747529
INSTITUTO TECNOLOGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORE...	1	1452	66	43.00000	0.0000	33.00000	26.000000	11.000000	2.000000	10.000000	25.000000
SISTEMA UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA	1	1958	321	215.33706	0.0000	405.07460	353.875580	4.517561	4.517561	37.646338	42.163899
UNIVERSIDAD PANAMERICANA	1	2063	218	404.90463	0.0000	418.98827	369.695535	0.000000	0.000000	10.562730	52.813648
BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA	0	4129	268	671.00000	214.0000	780.00000	705.000000	148.000000	61.000000	66.000000	52.000000
SISTEMA UNIVERSIDAD LA SALLE, AC	1	4736	515	326.45413	0.0000	503.87486	468.390715	14.193658	7.096829	28.387316	205.808041
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON	0	5796	268	804.00000	244.0000	688.00000	639.000000	148.000000	69.000000	134.000000	65.000000
UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA	0	5923	194	1163.00000	264.0000	933.00000	842.000000	46.000000	42.000000	75.000000	37.000000
UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MEXICO	0	6620	333	520.00000	220.0000	484.00000	411.000000	15.000000	4.000000	67.000000	111.000000
SISTEMA INSTITUTO TECNOLOGICO Y DE ESTUDIOS S...	1	9477	855	697.35233	0.0000	971.98529	923.520647	175.011201	140.008961	72.696961	49.810880
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA	0	9775	536	1248.88493	550.2832	958.69652	874.864313	23.644981	12.897263	200.982342	136.496029
INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL	0	10108	246	1210.00000	0.0000	2235.00000	1615.000000	154.000000	85.000000	106.000000	54.000000
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	0	32406	476	4746.00000	0.0000	5231.00000	5958.000000	236.000000	197.000000	193.000000	111.000000

Después obtuvimos las nuevas eficiencias:

```
v_Inputs <- with(Mod_output, cbind(Personal,Programas)) #entradas
u_Outputs <- with(Mod_output, cbind(SNI, PRODEP, WOS, SCOPUS, P.Solicitudes, P.Aprobadas, PNPC, COPAES)) #salidas
universidades0 <- dea(v_Inputs, u_Outputs, SLACK = TRUE, DUAL = TRUE, RTS = "crs", ORIENTATION = "in")
REOUT <- data.frame(data$INSTITUCIONES, data$Tipo, universidades0$eff, universidades0$lambda)
```

data.INSTITUCIONES	data.Tipo	universidades0.eff	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18	L19	L20
EL COLEGIO DE MEXICO	0	1	1.0000000	0.0000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS PUEBLA, AC	1	1	0.0000000	1.0000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
INSTITUTO TECNOLOGICO AUTONOMO DE MEXICO	1	1	0.4910578	0.1088336	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.03395244	0.004631227
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE LA CIUDAD DE MEXICO	0	1	3.2677165	0.0000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
UNIVERSIDAD DEL EJERCITO Y FUERZA AEREA	0	1	0.0000000	0.4777518	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.017397123
UNIVERSIDAD DE MONTERREY	1	1	0.2287738	0.7757800	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	0.02640085	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.008054915
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA	1	1	0.0000000	1.4036077	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.07036502	0	0.00631048	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
UNIVERSIDAD POPULAR AUTONOMA DEL ESTADO DE ...	1	1	0.6858668	0.9488409	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.11509437	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
INSTITUTO TECNOLOGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORE...	1	1	0.0000000	0.0000000	0	0	0	0	0	0	1.0000000	0	0	0.0000000	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
SISTEMA UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA	1	1	5.4099182	0.5577235	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.05577235	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
UNIVERSIDAD PANAMERICANA	1	1	6.1380410	0.7948542	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA	0	1	0.0000000	0.0000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	1.0000000	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
SISTEMA UNIVERSIDAD LA SALLE, AC	1	1	0.0000000	3.6081952	0	0	0	0	0	0	0.7150829	0	0	0.0000000	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.035252364
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON	0	1	0.0000000	0.0000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	1.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA	0	1	0.0000000	0.0000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	0.0000000	1.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MEXICO	0	1	0.0000000	0.0000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	0.0000000	0.0000000	1.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
SISTEMA INSTITUTO TECNOLOGICO Y DE ESTUDIOS S...	1	1	0.0000000	0.0000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	2.29522887	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	0.0000000
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA	0	1	9.6434228	0.0000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	0.10962662	0.0335915	0.9805457	0	0	0.0000000	0.0000000
INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL	0	1	0.0000000	0.0000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	1.0000000	0.0000000
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	0	1	0.0000000	0.0000000	0	0	0	0	0	0	0.0000000	0	0	0.0000000	0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0	0	0.0000000	1.0000000

La siguiente gráfica muestra el incremento que se debería de llevar a cabo en cada variable de salida para poder ser más eficientes. Se puede observar que el Sistema Universidad La Salle vuelve a ser la institución que debe generar mayores cambios, sobre todo en las publicaciones que realiza en las revistas de divulgación. Por otro lado, la Universidad del Ejército y Fuerza Aérea es la que menos modificaciones debe realizar.



## e. Conjuntos de referencia

El conjunto de referencia es el grupo de universidades eficiente que se comportan de manera similar a la que se está evaluando. Entonces si se quiere analizar su funcionamiento, las universidades del conjunto de referencia ayudarán a ello para ver qué se puede modificar para volverlas eficientes.

Que una universidad tenga eficiencia perfecta implica que el conjunto de referencia es ella misma. Es decir, solo se activa la  $\lambda$  de la propia universidad. Por lo tanto. El conjunto de referencia de la UNAM es la UNAM, el del IPN es el IPN, y así sucesivamente con las instituciones que se mencionan abajo.

Las universidades que obtuvieron eficiencia del 100% fueron:

- El Colegio de México.
- Universidad de las Américas Puebla, A.C.
- Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores del Occidente.
- Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Universidad Autónoma de Nuevo León
- Universidad Autónoma Metropolitana
- Universidad Autónoma del Estado de México
- Instituto Politécnico Nacional
- Universidad Nacional Autónoma de México

Por otro lado, se tienen las universidades que no tienen eficiencia al 100%. Estas sí tienen conjuntos de referencia diferentes, que son los siguientes.

- Instituto Tecnológico Autónomo de México
  - Conjunto de referencia:
    - El Colegio de México con  $\lambda$  0.28
    - Universidad de las Américas Puebla, AC con  $\lambda$  0.06
    - Instituto Politécnico Nacional con  $\lambda$  0.02
    - Universidad Nacional Autónoma de México con  $\lambda$  0.003
- Universidad Autónoma de la Ciudad de México
  - Conjunto de referencia:
    - El Colegio de México con  $\lambda$  1.14
- Universidad del Ejército y Fuerza Aérea
  - Conjunto de referencia:
    - Universidad de las Américas Puebla, AC con  $\lambda$  0.11
    - Universidad Nacional Autónoma de México con  $\lambda$  0.004
- Universidad de Monterrey
  - Conjunto de referencia:
    - El Colegio de México con  $\lambda$  0.12
    - Universidad de las Américas Puebla, AC con  $\lambda$  0.40
    - Universidad Autónoma de Nuevo León con  $\lambda$  0.01
    - Universidad Nacional Autónoma de México con  $\lambda$  0.004
- Universidad Autónoma de Guadalajara
  - Conjunto de referencia:

- Universidad de las Américas Puebla, AC con  $\lambda$  0.37
  - Benemérita Universidad Autónoma de Puebla con  $\lambda$  0.02
  - Universidad Autónoma de Nuevo León con  $\lambda$  0.002
- Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
  - Conjunto de referencia:
    - El Colegio de México con  $\lambda$  0.44
    - Universidad de las Américas Puebla, AC con  $\lambda$  0.61
    - Benemérita Universidad Autónoma de Puebla con  $\lambda$  0.07
- Sistema Universidad Iberoamericana
  - Conjunto de referencia:
    - El Colegio de México con  $\lambda$  3.59
    - Universidad de las Américas Puebla, AC con  $\lambda$  0.37
    - Benemérita Universidad Autónoma de Puebla con  $\lambda$  0.04
- Universidad Panamericana
  - Conjunto de referencia:
    - El Colegio de México con  $\lambda$  1.74
    - Universidad de las Américas Puebla, AC con  $\lambda$  0.22
- Sistema Universidad La Salle, AC
  - Conjunto de referencia:
    - Universidad de las Américas Puebla, AC con  $\lambda$  0.51
    - Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente con  $\lambda$  0.10
    - Universidad Nacional Autónoma de México con  $\lambda$  0.005
- Sistema Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
  - Conjunto de referencia:
    - Benemérita Universidad Autónoma de Puebla con  $\lambda$  1.70
- Universidad de Guadalajara
  - Conjunto de referencia:
    - El Colegio de México con  $\lambda$  8.97
    - Universidad Autónoma de Nuevo León con  $\lambda$  0.10
    - Universidad Autónoma de Metropolitana con  $\lambda$  0.03
    - Universidad Autónoma del Estado de México con  $\lambda$  0.91

## 4. Conclusiones

En general, el análisis arrojó que de acuerdo con las variables que se eligieron las universidades públicas resultan ser más eficientes que las universidades privadas. Lo anterior se puede observar en cada gráfica debido a que están acomodadas, de arriba hacia abajo, de privadas a públicas. Desde el inicio del análisis únicamente fueron tres universidades públicas las ineficientes: la Universidad de Guadalajara, la Universidad del Ejército y Fuerza Aérea y la Universidad Autónoma de la Ciudad de México. Mientras que de las universidades privadas las únicas eficientes fueron: la Universidad de las Américas Puebla, AC. y el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente. Por lo anterior, se pudo observar que las universidades privadas tendrían que realizar mayor número de modificaciones para ser más eficientes.

De forma más específica, al analizar las entradas se observó la reducción de personal y programas académicos por institución para llegar a la eficiencia de 1. Es decir, se reducen ambas variables y se esperan los mismos resultados. De las universidades públicas la Universidad de Guadalajara es la que mayor personal docente debe reducir con 680 y 37 programas académicos. Mientras que la Universidad del Ejército y Fuerza Aérea resultó ser la que mayor número de programas académicos debe eliminar con 52, junto con 675 docentes.

Por otro lado, el panorama de las universidades privadas mostró que el Sistema Universidad La Salle A.C. debe reducir en 4,069 docentes, junto con 442 programas académicos. Siendo la anterior la universidad que mayor número de programas y docentes debe eliminar, es decir, la más ineficiente.

En el análisis de las salidas nos encontramos que si bien las tres universidades públicas que resultan ser ineficientes deben realizar cambios, no impacta de la misma manera que el cambio en las entradas. Ahora la Universidad del Ejército y Fuerza Aérea se lleva la menor cantidad de modificaciones. Por el lado de las universidades privadas, el ITAM, la universidad de Monterrey y la Universidad Autónoma de Guadalajara resultan estar en un nivel similar de modificaciones. En general, las universidades no eficientes deben prestar atención al número de publicaciones que realizan.

Consideramos que la eficiencia de este análisis tiene gran relación con el tipo de variables elegidas, ya que estas fueron elegidas arbitrariamente y esto puede afectar en los resultados que se observan. Un análisis más apegado a la realidad requeriría que se tomen en cuenta todos los rubros para poder juzgar correctamente a las universidades. El análisis que se hizo en este trabajo da una idea del panorama general, pero no debe tomarse como concluyente.

Los resultados fueron interesantes desde el punto de vista de las entradas y las salidas, pues vimos que variaron los efectos que tuvo cada universidad dependiendo de las modificaciones aplicadas.

Este tipo de análisis es de suma importancia en los campos de administración, porque contribuyen a mejorar el funcionamiento de instituciones que requieren observación. Puede ser de utilidad cuando se busca mejorar la calidad y el uso de recursos en distintas operaciones.

En este caso específico, como se mencionó en la introducción, se debe prestar atención al tema educativo. Para lograr una instrucción eficiente para la sociedad, es necesario mantener en constante observación el nivel de cada institución. Es importante recalcar nuevamente que son las universidades privadas las que requieren más cambio. Desde nuestro punto de vista, es posible que esto se deba a que estas universidades tienen por lo general un presupuesto mayor que las públicas, entonces el uso de los recursos suele ser un poco más descuidado.

Por último, creemos que este trabajo contribuye a las habilidades de gestión que se deben desarrollar como estudiante y como futuro profesionista. Aunque esto haya sido aplicado a un campo pequeño, sabemos que hay situaciones más complejas y que requieren mayor precisión a las cuales podríamos aplicar los conocimientos adquiridos en este proyecto.

## 5. Referencias

- Gómez, J., 2022. La evaluación de la eficiencia en las universidades públicas españolas. [en línea] Disponible en: <https://economicsofeducation.com/wp-content/uploads/murcia2001/E01.pdf>
- Springer Link. 2022. Efficiency of Universities: Drivers, Enablers and Limitations. [en línea] Disponible en: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-77407-7\\_36](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-77407-7_36)
- UNAM. 2022. *Execum*. [en línea] Disponible en: <http://www.execum.unam.mx/>



## 6. Código de DEA en R

### Anexo A.

```
library(Benchmarking)
library(readxl)
library(tibble)

#LIMPIEZA Y CARGA DE DATOS
data <- read.csv("execum62a210f4bd249.csv", na.strings=c("-", "NA", " ", ""))
data[is.na(data)] <- 0
View(data)

data <- data[c(-1, -2, -3, -4, -5, -6, -7), c(-3, -5, -7, -9, -11, -13, -15, -17, -19, -21)]

colnames(data)[1] <- "INSTITUCIONES"
colnames(data)[2] <- "DOCENTES"
colnames(data)[3] <- "PROGRAMAS"
colnames(data)[4] <- "SNI"
colnames(data)[5] <- "PRODEP"
colnames(data)[6] <- "WOS"
colnames(data)[7] <- "SCOPUS"
colnames(data)[8] <- "PATENTES_SOLICITADAS"
colnames(data)[9] <- "PATENTES_OTORGADAS"
colnames(data)[10] <- "PNPC"
colnames(data)[11] <- "COPAES"

rownames(data)[1:20] <- 1:20

Tipo <- c(0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0)

data <- add_column(data, Tipo, .after = "INSTITUCIONES")

data[data == "NA"] <- 0
data[data == "-"] <- 0
data[is.na(data)] <- 0

View(data)
data<- transform(data, DOCENTES=as.numeric(DOCENTES),
PROGRAMAS=as.numeric(PROGRAMAS), SNI=as.numeric(SNI),
PRODEP=as.numeric(PRODEP), WOS=as.numeric(WOS),
SCOPUS=as.numeric(SCOPUS),
PATENTES_SOLICITADAS=as.numeric(PATENTES_SOLICITADAS),
```

```

PATENTES_OTORGADAS=as.numeric(PATENTES_OTORGADAS),
PNPC=as.numeric(PNPC), COPAES=as.numeric(COPAES))

#Eficiencia
v_Inputs <- with(data, cbind(DOCENTES, PROGRAMAS)) #entradas
u_Outputs <- with(data, cbind(SNI, PRODEP, WOS, SCOPUS,
PATENTES_SOLICITADAS, PATENTES_OTORGADAS, PNPC, COPAES)) #salidas
universidades <- dea(v_Inputs, u_Outputs, SLACK = TRUE, DUAL = TRUE, RTS = "crs",
ORIENTATION = "in")
RES <- data.frame(data$INSTITUCIONES, data$Tipo, universidades$eff,
universidades$lambda)

#Modificar entradas
Personal_2<- data.frame(data$DOCENTES*RES$universidades.eff)
Programa_2<- data.frame(data$PROGRAMAS*RES$universidades.eff)

Mod_inputs<- cbind(data$INSTITUCIONES,data$Tipo,Personal_2,Programa_2, data$SNI,
data$PRODEP,data$WOS, data$SCOPUS,

data$PATENTES_SOLICITADAS,data$PATENTES_OTORGADAS,data$PNPC,data$COP
AES)

colnames(Mod_inputs)<- c("INSTITUCIONES_IN", "Tipo_IN", "DOCENTES_IN",
"PROGRAMA_IN", "SNI_IN", "PRODEP_IN", "WOS_IN", "SCOPUS_IN",
"PATENTES_SOLICITADAS_IN", "PATENTES_APROBADAS_IN",
"PNPC_IN", "COPAES_IN")

#Eficiencia nuevas entradas
v_Inputs <- with(Mod_inputs, cbind(DOCENTES_IN, PROGRAMA_IN)) #entradas
u_Outputs <- with(Mod_inputs, cbind(SNI_IN, PRODEP_IN, WOS_IN, SCOPUS_IN,
PATENTES_SOLICITADAS_IN, PATENTES_APROBADAS_IN,
PNPC_IN, COPAES_IN)) #salidas
universidadesI <- dea(v_Inputs, u_Outputs, SLACK = TRUE, DUAL = TRUE, RTS = "crs",
ORIENTATION = "in")
RESIN <- data.frame(data$INSTITUCIONES, data$Tipo, universidadesI$eff,
universidadesI$lambda)

#Modificar salidas
SNI_2<- data.frame(data$SNI*(1/RES$universidades.eff))
PRODEP_2<- data.frame(data$PRODEP*(1/RES$universidades.eff))
WOS<- data.frame(data$WOS*(1/RES$universidades.eff))
SCOPUS<- data.frame(data$SCOPUS*(1/RES$universidades.eff))
P.Solicitudes<- data.frame(data$PATENTES_SOLICITADAS*(1/RES$universidades.eff))

```

```

P.Aprobadas<- data.frame(data$PATENTES_OTORGADAS*(1/RES$universidades.eff))
PNPC_2<- data.frame(data$PNPC*(1/RES$universidades.eff))
COPAES_2<- data.frame(data$COPAES*(1/RES$universidades.eff))

Mod_output<-
cbind(data$INSTITUCIONES,data$Tipo,data$DOCENTES,data$PROGRAMAS, SNI_2,
PRODEP_2,WOS, SCOPUS,
      P.Solicitudes, P.Aprobadas,PNPC_2,COPAES_2)
colnames(Mod_output)<- c("Instituciones", "Tipo", "Personal", "Programas", "SNI",
"PRODEP", "WOS", "SCOPUS", "P.Solicitudes",
      "P.Aprobadas","PNPC", "COPAES")

#Eficiencia nuevas salidas
v_Inputs <- with(Mod_output, cbind(Personal,Programas)) #entradas
u_Outputs <- with(Mod_output, cbind(SNI, PRODEP, WOS, SCOPUS, P.Solicitudes,
P.Aprobadas, PNPC, COPAES)) #salidas
universidadesO <- dea(v_Inputs, u_Outputs, SLACK = TRUE, DUAL = TRUE, RTS = "crs",
ORIENTATION = "in")
REOUT <- data.frame(data$INSTITUCIONES, data$Tipo, universidadesO$eff,
universidadesO$lambda)

```