



UNIVERSIDAD  
**COMPLUTENSE**  
MADRID

Proyecto de Innovación Convocatoria 2022/2023

Nº de proyecto: 296

Título del proyecto: Materiales didácticos para la enseñanza de la Bioingeniería

Responsable del Proyecto:  
Samuel España Palomares

Centro:  
Facultad de Ciencias Físicas

Departamento:  
Departamento de Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica

## 1. **Objetivos propuestos en la presentación del proyecto**

El objetivo del proyecto es la mejora de la capacidad de aprendizaje de los alumnos de la asignatura de Bioingeniería. Muchas de las prácticas de laboratorio de esta asignatura tienen asociados contenidos que involucran una gran cantidad de procesos físicos complejos. La comprensión por parte de los alumnos de estos procesos se beneficiaría de material visual, que les permitiera analizar de un modo más evidente las interacciones y mecanismo subyacentes. En muchas ocasiones, simular estos procesos requiere largos tiempos de cálculo, lo cual imposibilita hacer demostraciones en tiempo real durante el laboratorio. De igual manera, el entrenamiento de redes neuronales para el procesamiento de datos, temática central de uno de los bloques de esta asignatura, es un proceso de alta demanda computacional. Por todo ello, la presentación de videos con simulaciones precalculadas, o con redes pre-entrenadas sería un complemento vital para facilitar el aprendizaje y dar acceso a los estudiantes a contenidos de apoyo a la asignatura. Aunque en el pasado se han realizado actividades en la dirección de crear material audiovisual para el laboratorio, que pudiera ser compartido por todas las asignaturas que lo utilizan, la experiencia de la pasada crisis sanitaria nos ha demostrado que este material no es suficiente para satisfacer las actuales demandas, por lo que necesitamos ahondar en esta dirección. Por otro lado, este proyecto nos permitirá a nosotros como parte del profesorado universitario, a ahondar nuestro conocimiento en competencias digitales, que consideramos fundamental para poder llevar a cabo una enseñanza actualizada e innovadora.

Este proyecto tiene los siguientes objetivos:

Crear una batería de recursos y materiales específicos sobre los distintos temas de la asignatura, y hacer que los estudiantes puedan profundizar en esta materia a diferentes niveles de dificultad, para su mayor aprovechamiento por el total de los estudiantes en función de sus capacidades e intereses.

Para facilitar la comprensión de los procesos físicos involucrados en los distintos temas de la asignatura de bioingeniería, se crearán videos demostrativos de simulaciones de dichos fenómenos mediante herramientas como las técnicas de Monte Carlo para estudiar la interacción de las partículas con la materia, métodos de diferencias finitas o análisis espectral de Fourier para la propagación de ondas acústicas, etc.

Iniciación en el campo de la inteligencia artificial con prácticas simplificadas que permitan a los alumnos explorar diferentes técnicas que son ampliamente utilizadas en la actualidad para el tratamiento de datos en el ámbito biosanitario.

Mejora de las sesiones de laboratorio correspondientes a la detección de bioseñales. Este laboratorio se desarrolla a lo largo de 5 sesiones de laboratorio de 2 horas con trabajo adicional en casa. Los estudiantes se dividen en grupos con el objetivo de que cada grupo trabaje como un equipo en una empresa desarrollando desde cero un dispositivo incluyendo distintos aspectos estudiados durante el Grado de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones. Los integrantes de cada grupo deben trabajar en el desarrollo de los circuitos electrónicos, el software de adquisición y procesamiento de señales y la comunicación entre el dispositivo y el PC o dispositivo móvil. Se trata por tanto de que los alumnos realicen un aprendizaje basado en el trabajo por proyectos. En este proyecto de innovación educativa se propone la

mejora del material disponible para los alumnos de modo que puedan maximizar el aprovechamiento del tiempo empleado durante el desarrollo del proyecto para afianzar los conocimientos adquiridos en la asignatura y mejorar su empleabilidad. El material desarrollado estará disponible en la web del Grupo de Física Nuclear y podrá ser utilizado en otras instituciones en las que se impartan contenidos similares.

El material desarrollado en este proyecto complementará las explicaciones de los profesores al inicio de las clases de laboratorio y permitirá profundizar más en los procesos físicos subyacentes. Si los alumnos ven los vídeos antes de asistir a la sesión de prácticas, ya conocerán los detalles de la tarea a realizar y tendrán una base que les permitiría sacar más partido a las prácticas. De esta manera, con este conocimiento previo, las explicaciones podrían centrarse así en los aspectos más fundamentales y ser más breves (especialmente útil si se debe asegurar la distancia social), o estar enfocadas a dudas planteadas por los estudiantes. Así mismo, los vídeos sobre aspectos del análisis de datos reforzarían el autoaprendizaje.

Facilitar actividades de divulgación de la Ciencia mediante experiencias de laboratorio. En resumen, los objetivos propuestos contribuyen significativamente a complementar los objetivos didácticos del Laboratorio de Bioingeniería. Con carácter general, el desarrollo de este proyecto de innovación ayudará a la formación de los estudiantes, no sólo de la asignatura de bioingeniería, sino también de otras asignaturas relacionadas con la física nuclear, permitiendo complementar su formación con material adicional que les permitirá facilitar la comprensión de las bases físicas subyacentes mediante ejemplos visuales sencillos. Además, se va a contar con estudiantes voluntarios, cuya función primordial será la revisión y evaluación del material elaborado desde una perspectiva más próxima a la de los destinatarios del producto final, que permitirá una rápida retroalimentación. Con esto, se facilita la mejora y adecuación de los contenidos previa a la disposición general de los contenidos para los estudiantes.

## 2. Objetivos alcanzados

El proyecto de innovación docente se enfrentó al desafío de mejorar la capacidad de aprendizaje de los alumnos en la asignatura de Bioingeniería, sin disponer de financiación externa. A pesar de este obstáculo, se logró implementar exitosamente todas las propuestas, demostrando un compromiso excepcional con la innovación educativa.

Logros Alcanzados:

Creación de Recursos y Materiales Específicos (Objetivo General):

**Logro:** Se creó una batería de recursos y materiales específicos para los diferentes temas de la asignatura. Los estudiantes pueden ahora profundizar en la materia a diferentes niveles de dificultad, adaptándose a sus capacidades e intereses.

Videos Demostrativos de Procesos Físicos (Objetivo 1):

**Logro:** Se logró y discutió en clases un video demostrativo que utiliza técnicas Monte Carlo, y análisis espectral de Fourier para visualizar procesos físicos complejos. Este video facilita la comprensión de los fenómenos estudiados en Bioingeniería.

Iniciación en Inteligencia Artificial (Objetivo 2):

**Logro:** A pesar de la falta de financiación, se implementaron prácticas simplificadas de inteligencia artificial que permiten a los alumnos explorar técnicas utilizadas en el procesamiento de datos biosanitarios, proporcionando una introducción valiosa a este campo.

Mejora de Sesiones de Laboratorio de Bioseñales (Objetivo 3):

**Logro:** Se llevó a cabo una mejora sustancial en el material disponible para las sesiones de laboratorio de detección de bioseñales. Los recursos actualizados facilitan el aprendizaje basado en proyectos y contribuyen a la empleabilidad de los estudiantes.

Facilitación de Divulgación Científica (Objetivo 4):

**Logro:** Se logró facilitar actividades de divulgación científica mediante experiencias de laboratorio, contribuyendo a la promoción de la ciencia entre los estudiantes y la comunidad. Algunas de estas actividades fueron también expuestas en la semana de la ciencia de nuestra facultad, con la actividad: Observando el interior del cuerpo humano con ultrasonidos e inteligencia artificial  
[chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://fisicas.ucm.es/file/sc23-fis-ucm-v02?ver](https://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://fisicas.ucm.es/file/sc23-fis-ucm-v02?ver)

Conclusiones:

A pesar de los desafíos presupuestarios, el proyecto de innovación docente logró no sólo alcanzar sino superar los objetivos propuestos. Los logros obtenidos contribuyen significativamente a la calidad y relevancia de la enseñanza en Bioingeniería, promoviendo la comprensión profunda de los temas a través de recursos visuales y prácticas innovadoras. Este proyecto demuestra que la creatividad y el compromiso pueden superar limitaciones financieras, permitiendo una educación de calidad y actualizada.

Facilitación de Divulgación Científica (Objetivo 5):

**Logro:** Se ha logrado desarrollar un conjunto diverso de circuitos de referencia. Estos circuitos sirven como base para el desarrollo de dispositivos destinados a la medición de bioseñales. Cada circuito aborda aspectos clave, como la electrónica de amplificación y conversión, las comunicaciones con el PC, y el procesado de señales. Se han integrado diversos ejemplos prácticos que permiten a los alumnos experimentar con la medición de parámetros fisiológicos. Estos ejemplos no solo refuerzan los conceptos teóricos, sino que también permiten a los estudiantes comprender la utilidad clínica de las técnicas aprendidas. Se ha diseñado un sistema comodín que posibilita la integración de todos los componentes necesarios en un solo dispositivo. Esto abarca desde los sensores hasta la electrónica de amplificación y conversión, la digitalización de la señal, y la transferencia de datos mediante USB o Bluetooth. El sistema permite la lectura y procesado de datos a través de aplicaciones Matlab, proporcionando una herramienta versátil para el análisis de datos. Además, la capacidad de transferencia de datos mediante Bluetooth facilita la

conectividad con aplicaciones en dispositivos móviles, ampliando las opciones de lectura y visualización de datos.

Conclusiones:

En conjunto, estos logros reflejan el éxito en la creación de un material didáctico integral, práctico y aplicado, que cumple con los objetivos planteados en el desarrollo de dispositivos para la medida de bioseñales en el contexto de la asignatura de Bioingeniería.

### **3. Metodología empleada en el proyecto**

La metodología empleada en el proyecto de innovación docente fue diseñada de manera cuidadosa y adaptada a las limitaciones de recursos financieros, maximizando la eficiencia y la efectividad en la implementación de los objetivos propuestos. A continuación, se describen los enfoques metodológicos clave utilizados en cada fase del proyecto:

#### **I. Análisis de Necesidades:**

Antes de iniciar cualquier desarrollo, se llevó a cabo un exhaustivo análisis de las necesidades de los estudiantes en la asignatura de Bioingeniería. Este proceso implicó la revisión detallada de los contenidos existentes, la identificación de brechas en el material disponible y la recopilación de retroalimentación de los estudiantes sobre sus desafíos y expectativas.

#### **II. Diseño de Contenidos:**

Con base en los resultados del análisis de necesidades, se procedió al diseño detallado de los nuevos recursos y materiales específicos. Se formó un equipo multidisciplinario que incluía expertos en Bioingeniería, física nuclear, inteligencia artificial y competencias digitales. Este enfoque permitió abordar de manera integral los diversos aspectos de la asignatura.

#### **III. Desarrollo de Contenidos Multimedia:**

Para la creación de videos demostrativos de simulaciones y procesos físicos, se implementaron técnicas eficientes de desarrollo multimedia. Se optó por herramientas de software de código abierto para maximizar la accesibilidad y minimizar los costos. Además, se fomentó la participación activa de estudiantes voluntarios en la creación y revisión de los contenidos, asegurando su relevancia y utilidad desde la perspectiva del usuario final.

#### **IV. Implementación de Prácticas Simplificadas de Inteligencia Artificial:**

Dado que el procesamiento de datos en el ámbito biosanitario involucra técnicas de inteligencia artificial intensivas en computación, se optó por prácticas simplificadas que permitieran a los estudiantes explorar conceptos clave sin requerir recursos computacionales significativos. Se utilizaron entornos como Google Colab, que ofrece recursos de computación gratuitos basados en la nube.

#### **V. Mejora de Sesiones de Laboratorio de Bioseñales:**

La mejora de las sesiones de laboratorio se abordó mediante un enfoque de aprendizaje basado en proyectos. Se desarrollaron recursos que facilitaban el trabajo colaborativo de los estudiantes en grupos, abarcando aspectos desde el diseño de circuitos electrónicos hasta el desarrollo de software de adquisición y procesamiento de señales. La participación activa de los estudiantes voluntarios permitió una evaluación continua y ajustes según las necesidades identificadas.

#### **4. Recursos humanos**

El éxito del proyecto de innovación docente se sustentó en la colaboración y dedicación de un equipo diverso de profesores de la asignatura, cada uno desempeñando un papel esencial en la consecución de los objetivos propuestos. A continuación, se detallan las contribuciones y roles clave dentro del proyecto:

**Equipo Docente:** El cuerpo docente desempeñó un papel fundamental en la conceptualización y dirección del proyecto. Se formó un equipo multidisciplinario que abarcaba áreas como Bioingeniería, física nuclear, inteligencia artificial y competencias digitales. Esta diversidad aseguró la cobertura integral de los temas abordados en la asignatura y enriqueció la perspectiva de diseño de los nuevos recursos.

**Coordinación del Proyecto:** Samuel España Palomares lideró el proyecto, supervisando todas las fases, desde la planificación hasta la implementación. Su experiencia en Bioingeniería y dirección de proyectos educativos garantizó una ejecución coherente y efectiva.

**Expertos Disciplinarios:** Profesores especializados en Bioingeniería, física nuclear y aprendizaje automático contribuyeron con su conocimiento técnico a la creación de contenido específico para cada área. Su experiencia garantizó la relevancia y la precisión de los recursos desarrollados.

#### **5. Desarrollo de las actividades**

La ejecución del proyecto de innovación docente se llevó a cabo a través de un proceso estructurado que abarcó diversas fases, desde la concepción de la idea hasta la implementación y evaluación de los recursos desarrollados. A continuación, se presenta un detallado informe sobre el desarrollo de las actividades a lo largo de estas etapas:

##### **I. Fase Inicial: Análisis de Necesidades y Planificación**

Se inició con un análisis exhaustivo de las necesidades educativas en la asignatura de Bioingeniería. Se revisaron los contenidos existentes, se recopiló opiniones de los estudiantes proporcionadas en anteriores cursos y evaluaciones del programa DOCENTIA y se identificaron áreas de mejora.

Se establecieron objetivos claros, basados en la mejora de la capacidad de aprendizaje de los estudiantes, y se diseñó un plan detallado para abordar las deficiencias identificadas.

##### **II. Diseño de Contenidos Multimedia y Materiales Específicos**

El equipo docente colaboró estrechamente en el diseño de nuevos recursos y materiales específicos para cada tema de la asignatura. Se definieron niveles de dificultad para adaptarse a las capacidades e intereses variados de los estudiantes.

Se incorporaron técnicas de Monte Carlo, diferencias finitas, análisis espectral de Fourier, y otras, en la creación de videos demostrativos para facilitar la comprensión de procesos físicos complejos.

Se fomentó la participación activa de estudiantes voluntarios en el diseño y revisión de contenidos para garantizar su relevancia y utilidad.

### III. Implementación de Prácticas Simplificadas de Inteligencia Artificial

Debido a la limitación presupuestaria, se seleccionó la interfaz gratuita de Google Colab como plataforma para implementar prácticas simplificadas de inteligencia artificial. Esto permitió a los estudiantes explorar técnicas modernas de procesamiento de datos biosanitarios sin incurrir en costos significativos.

Se proporcionó formación específica para el uso efectivo de estas herramientas, mejorando así la competencia digital del personal docente y garantizando una implementación exitosa (ver ejemplo en sección Anexos).

### IV. Mejora de Sesiones de Laboratorio de Bioseñales

Se emplearon modestos recursos de proyectos de investigación de los profesores de la asignatura para mejorar y actualizar algunos componentes de las sesiones de laboratorio de bioseñales. Los estudiantes se organizaron en grupos para desarrollar proyectos completos desde cero, incorporando conocimientos de ingeniería electrónica y comunicaciones.

Un ejemplo de esto ha sido la introducción de una práctica en torno a un sistema de imagen PET desarrollado por los propios profesores de la asignatura en la UCM (ver Figura 1). De este modo, se ha podido enseñar a los estudiantes in situ un sistema de imagen médica desde la base, pudiendo ver los distintos componentes, desde el sistema de detección y la electrónica subyacente hasta el software de adquisición de datos y reconstrucción de imagen.



Figura 1. Sistema de detectores para imagen PET montado para las sesiones del laboratorio de bioseñales de la asignatura de bioingeniería

Los materiales fueron ajustados en función de la retroalimentación recibida, asegurando que fueran efectivos y se alinearan con los objetivos didácticos del laboratorio de Bioingeniería.

Se realizó el diseño y la creación de diversos circuitos de referencia que sirvieran como elementos fundamentales para el desarrollo de dispositivos de medición de bioseñales. Esto incluyó la selección y disposición adecuada de sensores, así como la implementación de electrónica de amplificación y conversión. Algunos ejemplos se muestran en la figura 2.

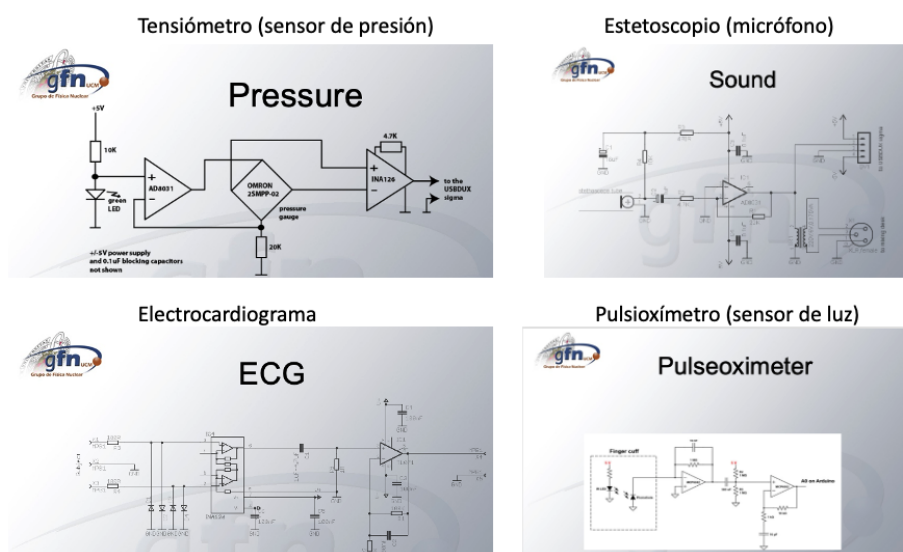


Figura 2. Circuitos de referencia desarrollados para la medida de bioseñales en el laboratorio de la asignatura de Bioingeniería. Esto incluye cuatro modalidades: el tensiómetro con un sensor de presión, el estetoscopio que utiliza un micrófono, el electrocardiograma que utiliza unos electrodos y el pulsioxímetro que utiliza emisores y detectores de luz.

## V. Documentación y Diseminación

Todo el proceso de desarrollo se documentó minuciosamente dentro de los guiones de laboratorio disponibles en el campus virtual para los estudiantes y en los cuadernos de google colab, también puestos a disposición de los estudiantes en el campus, para garantizar la replicabilidad y disponibilidad futura de los recursos. La documentación incluyó detalles técnicos, metodológicos y experiencias de implementación.

En resumen, el desarrollo de las actividades siguió una metodología estructurada y colaborativa, centrada en la mejora continua. A pesar de la falta de financiación externa, se lograron implementar con éxito los objetivos propuestos, demostrando la eficacia de la planificación estratégica y la participación activa de todos los miembros del equipo.

## 6. Anexos

Ejemplo de Jupyter Notebook creado para la implementación de un algoritmo Machine Learning de clustering basado en el método de K-means. Con el mismo se buscaba que los estudiantes comprendieran el proceso de agrupación automática basada en características extraídas de distintos grupos con diferente estadística y de este modo encontrar propiedades comunes para agruparlos.

+ Código + Texto

texto del enlace## Curso Bioingeniería

### k-Means Clustering - Intro

5-Factor Model of Personality

mailvn01@ucm.es

reference: <https://www.aprendemachinelearning.com/>

```
[ ] import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sb
from sklearn.cluster import KMeans
from sklearn.metrics import pairwise_distances_argmin_min

#%matplotlib inline
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D
plt.rcParams['figure.figsize'] = (16, 9) # set a tuple with width and height.
plt.style.use('ggplot') # plotting style
```

### Cargamos los datos de entrada del archivo csv

(openness extraversion agreeableness neuroticism and conscientiousness)

```
[ ] from google.colab import files
uploaded = files.upload()
```

Seleccionar archivos: Ninguno archivo seleccionado. Upload widget is only available when the cell has been executed in the current browser session. Please rerun this cell to enable. Saving analisis3.csv to analisis3.csv

```
[ ] dataframe = pd.read_csv('analisis3.csv')
dataframe.head()
```

	usuario	op	co	ex	ag	ne	wordcount	categoria
0	3gerardpique	34.297953	28.148819	41.948819	20.370315	9.841575	37.0945	7
1	aguerosegiokun	44.988842	20.525885	37.938947	24.279098	10.362408	78.7870	7
2	albertochicote	41.733854	13.745417	38.999898	34.845521	8.839979	49.2804	4
3	AlejandroSanz	40.377154	15.377482	52.337538	31.082154	5.032231	80.4538	2
4	alfredocasero1	38.064877	19.842258	48.530806	31.138871	7.305988	47.0845	4

dataframe.describe() #información estadística que nos provee Pandas

	op	co	ex	ag	ne	wordcount	categoria
count	140.000000	140.000000	140.000000	140.000000	140.000000	140.000000	140.000000
mean	44.414501	22.977135	40.784428	22.918528	8.000098	68.715484	4.050000
std	8.425723	5.818851	7.185246	7.657122	3.039248	44.714071	2.658839
min	30.020485	7.852756	18.893542	9.305985	1.030213	5.020800	1.000000
25%	38.208484	19.740299	38.096722	17.050993	6.088144	68.218475	2.000000
50%	44.507091	22.489718	41.457492	21.384554	7.839722	94.711400	3.500000
75%	48.385923	28.091606	45.197789	28.678888	9.758189	119.707925	7.000000



+ Código + Texto

```
llenos cuantos usuarios hay de cada categoria (hay 9)  
[ ] print(dataframe.groupby('categoria').size())
```

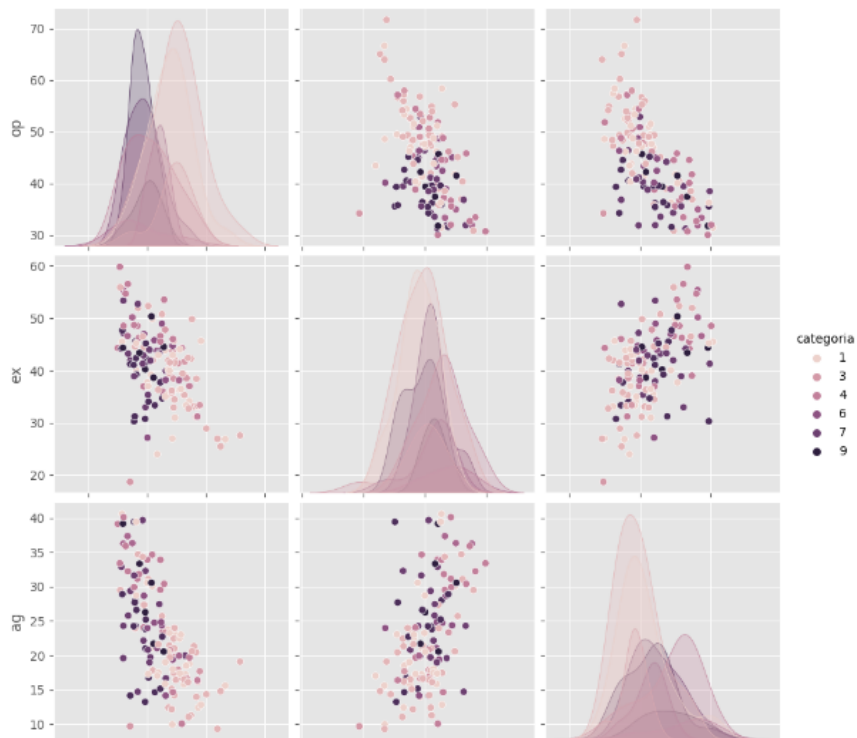
```
categoria  
1    27  
2    34  
3     9  
4    19  
5     4  
6     8  
7    17  
8    16  
9     6  
dtype: int64
```

Las categorias son: 1-actores 2-cantantes 3-modelo 4-TV 5-radio 6-tecnología 7-deportes 8-politica 9-escritor

### Visualizamos los datos

```
sb.pairplot(dataframe.dropna(), hue='categoria', size=3, vars=["op", "ex", "ag"], kind='scatter')
```

```
/usr/local/lib/python3.10/dist-packages/seaborn/axisgrid.py:2095: UserWarning: The 'size' parameter has been renamed to 'height'; please update your code.  
warnings.warn(msg, UserWarning)  
<seaborn.axisgrid.PairGrid at 0x79e4ba14b580>
```





```

Ejercicio_K_Means_ipynb_2023.ipynb
Archivo Editar Ver Insertar Entorno de ejecución Herramientas Ayuda Se han guardado todos los cambios

+ Código + Texto

centroids = kmeans.cluster_centers_
print(centroids)
centroids.shape

[[[5.99241396 47.56828232 33.58748762]
 [43.3644665 31.89755772 19.58586767]
 [49.99285115 48.87133549 17.47411785]
 [59.25320797 31.29778653 15.9896252 ]
 [39.94672753 42.82349753 23.72594859]]]
/usr/local/lib/python3.10/dist-packages/sklearn/cluster/_kmeans.py:878: FutureWarning: The default value of 'n_init' will change from 10 to 'auto' in 1.4. Set the value of 'n_init' explicitly to suppress the warning
warnings.warn(
(5, 3)

[] # Obtenemos las etiquetas de cada punto de nuestros datos
labels = kmeans.predict(X)
# Obtenemos los centroides
C = kmeans.cluster_centers_
colores=['red','green','blue','cyan','yellow']
asignar=[]
for row in labels:
    asignar.append(colores[row])

fig = plt.figure()
ax = Axes3D(fig)
ax.scatter(X[:, 0], X[:, 1], X[:, 2], c=asignar,s=60)
ax.scatter(C[:, 0], C[:, 1], C[:, 2], marker='*', c=colores, s=1000)

ax.set_xlabel('Opemess')
ax.set_ylabel('Extraversión')
ax.set_zlabel('Agregables')

Text(0.5, 0, 'Agregables')
<Figure size 1000x900 with 0 Axes>

[] # contamos cuantos usuarios hay en cada grupo
copy = pd.DataFrame()
copy['usuario']=dataframe['usuario'].values
copy['categoria']=dataframe['categoria'].values
copy['label'] = labels;
cantidadGrupo = pd.DataFrame()
cantidadGrupo['color']=colores
cantidadGrupo['cantidad']=copy.groupby('label').size()
cantidadGrupo

   color  cantidad
0    red         34
1  green         42
2    blue         19
3    cyan         33
4  yellow         12

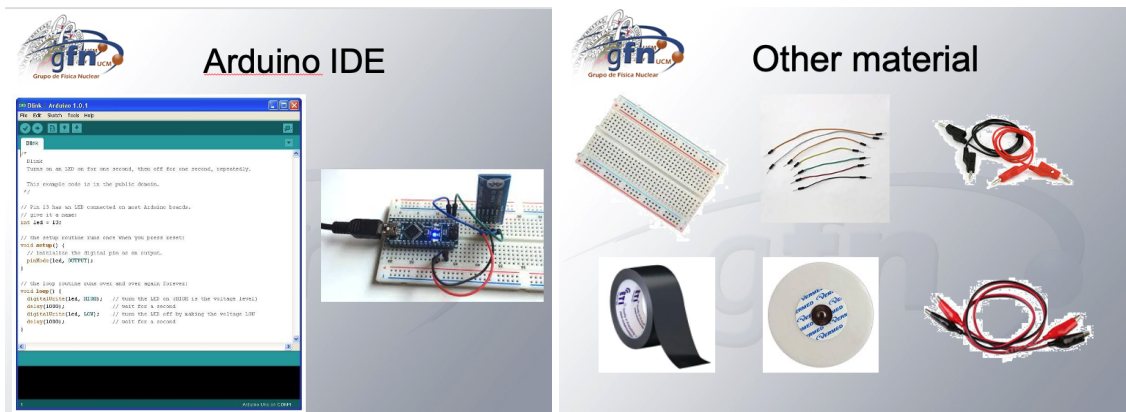
# Veamos cuantos usuarios en cada categoria hay en cada group
group_referrer_index = copy['label'] ==3
group_referrals = copy[group_referrer_index]

diversidadGrupo = pd.DataFrame()
diversidadGrupo['categoria']=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]
diversidadGrupo['cantidad']=group_referrals.groupby('categoria').size()
diversidadGrupo

   categoria  cantidad
0           0         NaN

```

## Material desarrollado para las medidas de bioseñales



Se han desarrollado herramientas y para que los alumnos puedan realizar la transferencia de datos desde el sensor hasta el PC de manera inalámbrica poniendo a disposición de los estudiantes microcontroladores Arduino y Bluetooth (izquierda). Se proporciona también el material necesario para el montaje de los circuitos (derecha).



## Simulaciones

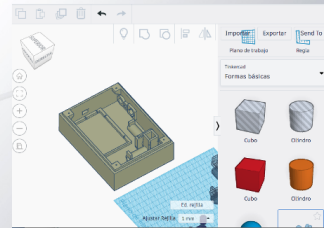
<https://www.partsim.com/simulator>

<https://www.falstad.com/circuit/>



## 3D Print - TinkerCAD

<https://www.tinkercad.com>



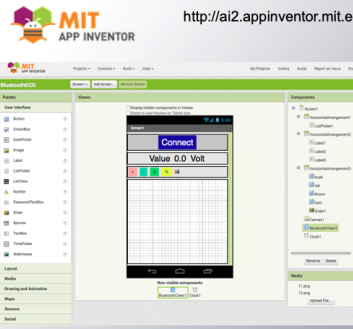
[https://www.tinkercad.com/things/6YwMvNfBrR-sizzling-maimu/edit?&sharecode=R1q4\\_exf38\\_OseWnbK5EjPm5wZkXEU0pe1-PuN8xhs=](https://www.tinkercad.com/things/6YwMvNfBrR-sizzling-maimu/edit?&sharecode=R1q4_exf38_OseWnbK5EjPm5wZkXEU0pe1-PuN8xhs=)

Se han realizado simulaciones previas de los circuitos para un mejor entendimiento de los mismos (izquierda). Se han acercado a los estudiantes las técnicas de impresión 3D para la fabricación de un dispositivo integrado.

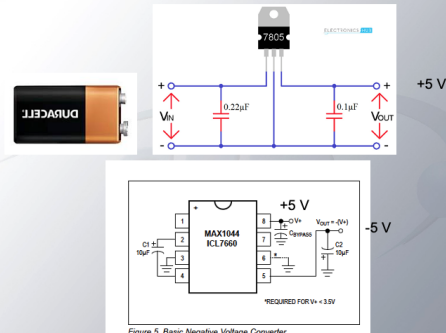


## MIT app inventor 2

<http://ai2.appinventor.mit.edu/>



## Power supply +/- 5V



Se han puesto a disposición de los alumnos, herramientas para el desarrollo de aplicaciones móviles que permitan la comunicación y visualización de los datos medidos (izquierda). Se ha desarrollado un sistema autónomo de alimentación de todos los circuitos para conseguir un dispositivo inalámbrico independiente.