

# ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS EN EL RANGO DE MICROONDAS<sup>1</sup>

---

Carlos Alejandro Amaya Cepeda- Ing.Sistemas.  
Jeisson Andrei Galvis Caballero- Ing. Eléctrica.  
Grupo G1A

La naturaleza no es tan complicada como pensamos y tampoco es tan sencilla como parece.  
Richard Feynman

## Resumen

En este laboratorio se estudió el comportamiento de las ondas electromagnéticas en el rango de microondas, con el objetivo de analizar la propagación y absorción de estas ondas en diferentes puntos del espacio y a través de varios materiales. Para ello, se utilizó un equipo de medición de microondas que incluía un oscilador Gunn, antenas receptoras, polarizadores y diversos materiales de prueba.

El experimento consistió en dos fases principales: en la primera, se investigó cómo varía la intensidad de la señal en función de la distancia y orientación de las antenas. En la segunda fase, se midió la transmisión y absorción de las ondas a través de distintos materiales, como plástico, acrílico, aluminio y otros. Los datos recogidos incluyeron el voltaje de la señal recibida en distintas posiciones angulares y en varias configuraciones de polarización.

Los resultados muestran que la intensidad de la señal disminuye con el aumento de la distancia entre las antenas y varía significativamente al pasar a través de materiales de diferentes propiedades dieléctricas. La principal conclusión es que la absorción y transmisión de microondas dependen tanto del material como de la configuración experimental, lo cual es esencial para aplicaciones en comunicaciones y en la detección de materiales en el rango de microondas.

---

<sup>1</sup> Reporte de investigación del equipo #, presentado al profesor ALEXANDER BALLESTEROS en la asignatura de Laboratorio de FÍSICA III. Fecha: 14/11/2024.

## Abstract

In this laboratory, the behavior of electromagnetic waves in the microwave range was studied, with the objective of analyzing the propagation and absorption of these waves at different points in space and through various materials. For this, microwave measurement equipment was used, which included a Gunn oscillator, receiving antennas, polarizers, and various test materials.

The experiment consisted of two main phases: in the first, the variation of the signal intensity was investigated as a function of the distance and orientation of the antennas. In the second phase, the transmission and absorption of the waves through different materials, such as plastic, acrylic, aluminum, and others, were measured. The collected data included the voltage of the received signal at different angular positions and in various polarization configurations.

The results show that the signal intensity decreases with the increase in distance between the antennas and varies significantly when passing through materials with different dielectric properties. The main conclusion is that the absorption and transmission of microwaves depend both on the material and the experimental setup, which is essential for applications in communications and the detection of materials in the microwave range.

## 1 INTRODUCCIÓN

El estudio de las ondas electromagnéticas en el rango de microondas es esencial para comprender los principios de propagación, absorción y transmisión de estas ondas en diferentes medios, siendo crucial para áreas como las comunicaciones inalámbricas, la detección de materiales y la medicina. Las microondas, que corresponden a la región del espectro electromagnético con frecuencias entre 1 GHz y 300 GHz, tienen la capacidad de penetrar ciertos materiales y reflejarse en otros, lo cual permite su uso en una variedad de aplicaciones prácticas (Jackson, 1999). Sin embargo, la interacción de los microondas con los materiales depende de propiedades específicas, como la permitividad dieléctrica, que determina cómo el material absorbe y transmite la energía de las ondas (Pozar, 2011).

El problema planteado en esta investigación se centra en caracterizar cómo diferentes materiales afectan la transmisión de microondas y en cómo se comporta la intensidad de la señal en función de la distancia y orientación de las antenas. Este conocimiento resulta relevante en el desarrollo de tecnologías de sensores, ya que permite predecir el comportamiento de las ondas en distintas condiciones. Los objetivos de este trabajo incluyen: i) analizar la variación de la intensidad de la señal de microondas en función de la distancia y orientación; ii) estudiar el efecto de diferentes materiales en la transmisión y absorción de la señal; y iii) relacionar los resultados experimentales con las teorías de propagación y absorción de ondas electromagnéticas.

La pregunta de investigación que guía este trabajo es: ¿cómo varía la intensidad de una señal de microondas cuando interactúa con distintos materiales y bajo diferentes configuraciones de distancia y polarización? Para abordar esta pregunta, se parte de la hipótesis de que la intensidad de la señal disminuirá con el aumento de la distancia y la presencia de materiales de alta permitividad. Además, se espera que la polarización afecte la cantidad de señal transmitida y recibida, ya que ciertas configuraciones permiten una mayor o menor transmisión de energía (Balanis, 2016).

El marco teórico se basa en los principios de propagación y absorción de ondas electromagnéticas. Según la teoría de ondas electromagnéticas, la intensidad de una onda disminuye exponencialmente al pasar a través de un medio absorbente, un fenómeno que se describe mediante la ley de Beer-Lambert (Born y Wolf, 1999). Adicionalmente, la reflexión y transmisión de microondas dependen de la impedancia del medio y de la polarización de la onda incidente (Collin, 2001). Así, materiales como el metal tienden a reflejar la mayor parte de la energía, mientras que materiales dieléctricos permiten una transmisión parcial de la señal.

Este documento está organizado en seis secciones fundamentales. La sección de Metodología y Equipo describe el montaje experimental, los materiales utilizados y los procedimientos seguidos para la recopilación de datos. En la sección de Tratamiento de Datos, se detalla el análisis de las mediciones y el procesamiento estadístico empleado. La sección de Análisis de Resultados presenta una discusión sobre el comportamiento observado en las mediciones, en relación con el marco teórico. Las conclusiones destacan los hallazgos clave y las implicancias de los resultados para aplicaciones prácticas. Finalmente, la sección de Referencias incluye todas las fuentes consultadas y citadas en el desarrollo del trabajo.

En esta práctica se requirió conocer sobre los siguientes temas:

- Fenómenos de electrostática. Ley de Coulomb. Principio de superposición. Sistemas de cargas puntuales.
- Conductores y campo eléctrico. Condiciones electrostáticas. Líneas de fuerza como recurso cualitativo para describir el campo electrostático.
- Ondas Electromagnéticas y Polarización

## 2 METODOLOGÍA

Para investigar el comportamiento de las ondas electromagnéticas en el rango de microondas al interactuar con distintos materiales, se implementó un experimento que permite observar la variación en la intensidad de la señal bajo diferentes configuraciones de distancia, polarización y material. Este experimento se realizó en dos fases: una enfocada en el análisis de la intensidad de la señal sin obstrucciones y con distintos ángulos de polarización, y otra centrada en estudiar la transmisión y absorción de microondas al interponer materiales de distintas características.

### Equipos utilizados

Para realizar el experimento, se emplearon los siguientes equipos:

- **Oscilador Gunn:** Fuente de microondas en el rango de frecuencias seleccionadas.
- **Antena receptora y transmisora:** Para recibir y transmitir las señales de microondas, colocadas en distintas posiciones y orientaciones según la fase del experimento.
- **Polarizador:** Dispositivo que permite ajustar el ángulo de polarización de la señal emitida.

- **Base de materiales:** Utilizada para colocar materiales como plásticos, espumas, acrílicos y metal, permitiendo observar cómo afectan la transmisión y absorción de la señal.
- **Medidor de voltaje:** Para registrar la intensidad de la señal recibida en función de las configuraciones de cada fase del experimento.

## Procedimiento experimental

### Fase 1: Variación de la intensidad de la señal con el ángulo de polarización

1. Se instaló el montaje experimental inicial, colocando la antena transmisora y receptora en posición horizontal a una distancia fija entre ellas, sin ningún material intermedio.
2. Se ajustó el polarizador a un ángulo inicial de  $0^\circ$  y se midió el voltaje de la señal recibida. Este valor se registró como referencia.
3. Posteriormente, se rotó el polarizador en intervalos de  $30^\circ$  hasta completar  $360^\circ$ , registrando el voltaje de la señal recibida en cada ángulo. Esto permitió observar cómo cambia la intensidad de la señal en función del ángulo de polarización.

### Fase 2: Efecto de distintos materiales en la transmisión de microondas

1. En esta fase, se mantuvo la configuración de la antena en posición horizontal, pero se colocaron diferentes materiales entre las antenas transmisoras y receptoras.
2. Se midió el voltaje de la señal recibida con cada material interpuesto (plástico, espuma, acrílico, PVC y metal) para evaluar cómo cada material afecta la intensidad de la señal.
3. Finalmente, se registraron los valores del voltaje para cada material y se compararon con la medición obtenida sin material, lo cual permitió calcular el porcentaje de transmisión y absorción.

### Fase 3: Variación de la intensidad de la señal con la distancia entre antenas

1. En esta fase, se estudió la dependencia de la intensidad de la señal con la distancia entre la antena transmisora y la receptora.
2. Las antenas se colocaron inicialmente a una distancia de 0.5 metros, y se aumentó la distancia en intervalos de 0.5 metros hasta alcanzar una separación de 2 metros.
3. En cada distancia, se registró el voltaje de la señal recibida, permitiendo analizar la disminución de la intensidad en función de la distancia.

### 3 TRATAMIENTO DE DATOS.

Con los datos recolectados en el laboratorio para el experimento “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS EN EL RANGO DE MICROONDAS”.

#### Fase 1:

Tabla 1. Distribución de voltajes en coordenadas  $(x_i, y_i)$

	Voltajes de cada punto coordenado $(x_i, y_i)$ $V_{(x_i, y_i)} [V]$				
	$x_1 = 52$	$x_2 = 57$	$x_3 = 62$	$x_4 = 67$	$x_5 = 72$
$y_1 = 4$	0.94				
$y_2 = 2$	1.2				
$y_3 = 0$	1.6	1.1	0.5	1.5	0.8
$y_4 = -2$	1.3				
$y_5 = -4$	1.1				

Se gráfico la intensidad de la onda contra la distancia en  $x = 52$  [cm] y los valores perpendiculares y utilizando GeoGebra se ajusta la curva que mejor describa la tendencia.

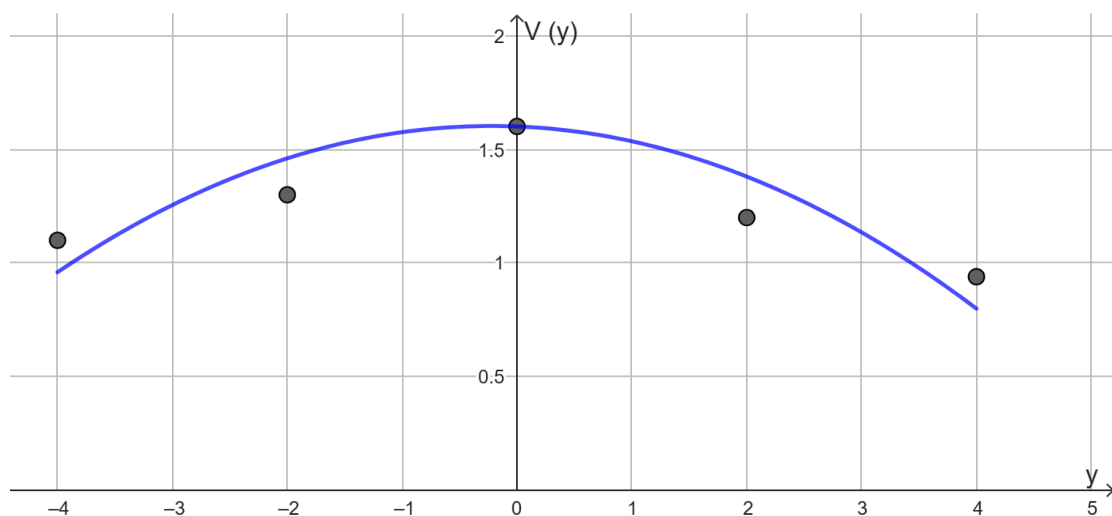


Figura 1. Voltaje vs distancia perpendicular.

Se graficó los valores del voltaje vs la distancia a la antena bocina y se creó la curva de tendencia de los valores utilizando la herramienta GeoGebra.

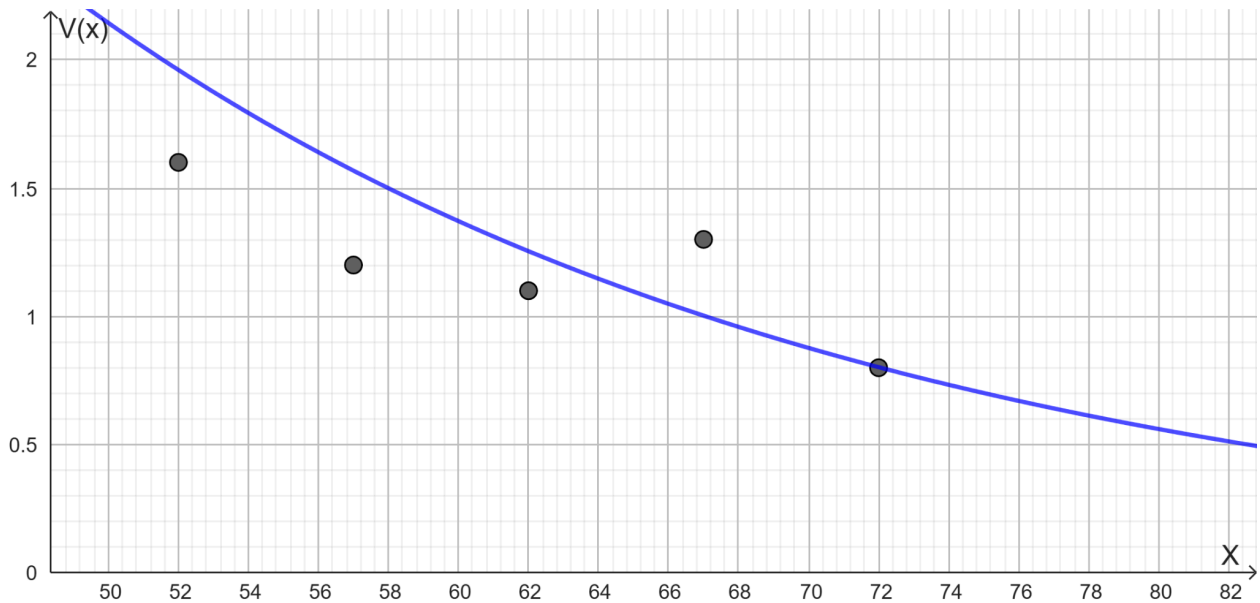


Figura 2. Voltaje vs distancia al emisor.

## Fase 2:

Utilizando los valores recolectados en el laboratorio se promedia y se registra los valores promedio en la Tabla 2.

$$V_{prom} = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{n} \quad (1)$$

Se identifica el valor máximo promedio obtenido.

$$V_{max} = 4.667 [v]$$

Se normalizan los valores, para esto dividimos cada uno de los valores de voltaje promedio en el valor máximo obtenido:

$$\frac{U_{prom}}{U_{max}} = \frac{V_{prom}}{V_{max}} \quad (2)$$

registramos todos los valores obtenidos en la Tabla 2.



Tabla 2. Voltajes promedios y normalizados por ángulo del polarizador.

Ángulo del polarizador $\theta^\circ$	Antena en posición vertical	Voltajes normalizados
	Voltaje promedio $V_{prom}$	$U_{prom} / U_{max}$
0	0.045	0.010
20	0.124	0.027
40	1.027	0.220
60	2.613	0.560
80	4.023	0.862
100	4.667	1.000
120	4.100	0.879
140	2.500	0.536
160	0.587	0.126
180	0.044	0.009
200	0.173	0.037
220	1.000	0.214
240	2.600	0.557
260	4.027	0.863
280	4.610	0.987
300	4.353	0.933
320	2.500	0.536
340	0.510	0.109

Con la ayuda de GeoGebra se realiza la gráfica de voltaje en función del ángulo de polarización y crea la curva de tendencia para los puntos utilizando la ecuación:

$$I = I_o \cos^2(\theta) \quad (3)$$

Como se trabaja con el valor normalizado del voltaje podemos decir que  $I_o$  es 1 y así mismo el valor de  $I$  oscila entre 0 y 1:

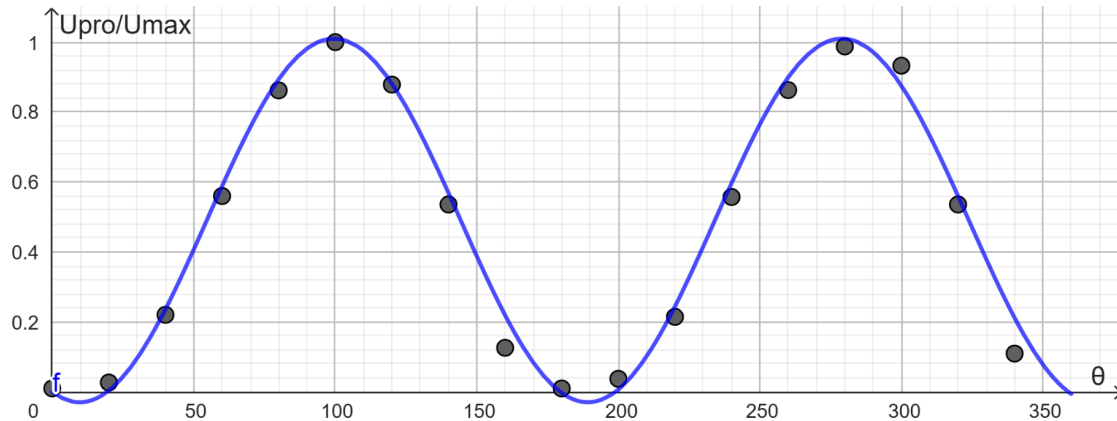


Figura 3. Voltaje normalizado vs Ángulo del polarizador.

### Fase 3:

Se realiza el cálculo del valor promedio del voltaje captado por la sonda en todas las situaciones.

Tomando como referencia el voltaje promedio registrado por la sonda sin ningún material se procede a calcular el porcentaje de absorción de cada material.

$$V_o = \text{Voltaje sin material} = 3.530 \text{ [V]}$$

Se calcula el porcentaje de absorción de cada material utilizando la ecuación, donde  $\sigma$  es la absorción del material :

$$\sigma\% = \frac{|V_o - V|}{V_o} * 100 \quad (4)$$

Se registran los datos obtenidos en la tabla 3.

Tabla 3. Voltaje a través de materiales.

Material	Voltaje promedio de la señal recibida por la sonda [V]	Porcentaje de absorción %
“sin material”	3.530	0
Plástico	2.900	17.8
Poliester negro	3.500	0.8
Espuma	3.400	3.7
Acrílico azul	3.100	12.2
PVC	2.833	19.7
Metal aluminio	0.019	99.5



## 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Distribución espacial del voltaje:

Al graficar el voltaje frente a las coordenadas  $y$ , se puede observar cómo se distribuye la intensidad de la onda a medida que te alejas del emisor. Este tipo de análisis permite identificar si hay patrones en la distribución del campo eléctrico.

Si la antena está emitiendo ondas electromagnéticas, se espera que el voltaje disminuye conforme te alejas del centro de emisión, lo que puede mostrar la propagación radial de la onda desde la fuente.

Curva de tendencia:

Al ajustar una curva que describa la tendencia de los puntos obtenidos figura 2, puedes observar el comportamiento del campo eléctrico a lo largo de las distancias. Este ajuste puede ayudar a verificar si la propagación sigue la ley de la inversa del cuadrado de la distancia (en un entorno ideal sin obstáculos ni absorción).

Patrones de propagación:

Comparando las medidas en las diferentes coordenadas, es posible ver cómo el campo eléctrico es más fuerte cerca del emisor y disminuye conforme te alejas, lo cual se espera en la propagación de microondas. Figuras 1 y 2.

También se pueden identificar zonas donde el voltaje es más intenso o más débil, lo que podría sugerir que hay interferencia o efectos de difracción en el área medida.

Comportamiento de la intensidad con respecto al ángulo:

Al graficar los voltajes normalizados en función del ángulo del polarizador, se debería observar una variación de la intensidad de la onda con el ángulo, que sigue la Ley de Malus:  $I = I_0 \cos^2(\theta)$

Este comportamiento es esperado, ya que la intensidad de la onda disminuye según el cuadrado del coseno del ángulo entre la dirección de polarización de la onda incidente y la dirección del polarizador.

Verificación de la Ley de Malus:

El valor máximo de  $V_{prom}$  corresponde a  $\theta = 90^\circ$  (cuando la onda y el polarizador están alineados). La normalización de los datos convierte la máxima intensidad en 1, y la ley de Malus da un buen ajuste teórico de cómo la intensidad disminuye al variar  $\theta$ .

La gráfica del voltaje normalizado vs el ángulo muestra que los resultados experimentales siguen la tendencia de la Ley de Malus, con una forma similar a una función coseno cuadrado.

Comprobación de la normalización:

La normalización de los valores de voltaje  $U_{prom} / U_{max}$  garantiza que todos los puntos estén comparados en la misma escala, permitiendo verificar si la ley de Malus se aplica correctamente a través del rango de ángulos.

Porcentaje de absorción de cada material:

Al calcular el porcentaje de absorción de microondas en diferentes materiales usando la fórmula:  $\sigma\% = \frac{|V_o - V|}{V_o} * 100$  y comparar estos valores, es posible ver cómo diferentes materiales afectan la propagación de las microondas.

Los materiales como el metal aluminio muestran una absorción muy alta (99.5%), lo que es esperado ya que los metales tienden a reflejar y absorber las microondas debido a su alta conductividad.

Materiales como el PVC y el plástico tienen una absorción moderada, lo que sugiere que estos materiales permiten que las microondas pasen a través de ellos pero con una atenuación parcial.

Comparación de la absorción entre materiales:

Al comparar el porcentaje de absorción entre materiales, se pueden identificar cuáles materiales son más efectivos para absorber microondas. Por ejemplo, materiales como el PVC y el acrílico azul absorben más energía que materiales como el poliéster negro o el plástico.

Comportamiento general:

La mayor absorción se observa en materiales conductores como el metal aluminio, lo que concuerda con la teoría de que los metales reflejan y absorben fuertemente las ondas electromagnéticas. Otros materiales, como los plásticos y la espuma, tienen una absorción menor, lo que sugiere que son menos efectivos para bloquear las microondas.

Metal → PVC → Plástico → Acrílico → Espuma → Poliéster

## 5 CONCLUSIONES

6

El comportamiento de las ondas electromagnéticas en el rango de microondas fue estudiado en tres aspectos clave: distribución del campo eléctrico, polarización de microondas y absorción en materiales. Los resultados experimentales mostraron que:

La intensidad del campo eléctrico disminuye conforme se aleja del emisor, lo que sigue la teoría de propagación de ondas electromagnéticas.

La Ley de Malus se verificó al mostrar que la intensidad de la onda disminuye de acuerdo con el ángulo de polarización, lo que confirma el comportamiento esperado para ondas polarizadas.

El coeficiente de absorción varió significativamente entre los materiales, con los metales absorbiendo casi todas las microondas y materiales no conductores mostrando una absorción menor.

Tabla 4. Tabla de síntesis de las conclusiones.

Objetivo	Conclusión
Estudiar la variación del campo eléctrico en diferentes puntos del espacio:	La intensidad del campo eléctrico disminuye con la distancia desde el emisor, conforme a la teoría de propagación de ondas electromagnéticas. A medida que te alejas de la antena, la intensidad se reduce de forma esperada, mostrando un comportamiento típico de la propagación radial.
Verificar la Ley de Malus para microondas polarizadas:	Los resultados experimentales confirmaron la Ley de Malus, ya que la intensidad de las microondas disminuyó según el ángulo de polarización. Los datos mostraron que la intensidad sigue la relación $I = I_0 \cos^2(\theta)$ , validando el modelo teórico para la polarización de microondas.
Calcular el coeficiente de absorción para diferentes materiales:	Los materiales conductores como el metal aluminio absorben casi todas las microondas (99.5% de absorción), mientras que materiales no conductores como el PVC y plástico muestran una absorción moderada. Los materiales aislantes como la espuma y el acrílico azul presentan una absorción intermedia, lo que sugiere su capacidad para atenuar pero no bloquear por completo las microondas.

## REFERENCIAS

Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2017). *Física para ciencias e ingeniería* (Vol. 2, 7a ed.). Cengage Learning.

Sánchez, M. J., & Miranda, D. A. (2017). Estudio del comportamiento de las ondas electromagnéticas en el rango de microondas [PDF]. Formación para la Investigación, Escuela de Física, Facultad de Ciencias, Universidad Industrial de Santander. <https://lms.uis.edu.co/ava/course/view.php?id=1788>

GeoGebra. (n.d.). *GeoGebra Classic* [Aplicación web]. GeoGebra. <https://www.geogebra.org/classic?lang=es>

Microsoft Corporation. (n.d.). *Microsoft Excel* [Aplicación web]. <https://www.office.com>