



## PROYECTO DE INNOVACIÓN DOCENTE (PID) 2022/2023

### -MEMORIA DE FINAL -

Coordinación de un Laboratorio Virtual como herramienta didáctica y de evaluación en asignaturas del Máster en Física y Tecnología de los Láseres

#### OBJETIVOS GENERALES

Dentro de la convocatoria de este programa de proyectos de innovación docente, la presente propuesta incide en los siguientes objetivos:

1. Potenciar el desarrollo de técnicas, procesos y estrategias docentes innovadoras que impulsen la participación activa del estudiante universitario.
2. Renovar la metodología de las clases teóricas y prácticas para mejorar la formación global de los estudiantes, su aprendizaje y sus resultados académicos.

#### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Habituarse a los estudiantes a la utilización de herramientas informáticas para la visualización y comprensión de distintos fenómenos físicos.
2. Despertar una actitud crítica e investigadora que los lleve a plantearse preguntas por sí mismos sobre los temas que están estudiando, y tratar de resolverlas.
3. Mejorar las habilidades de modelización de un sistema físico y su posterior implementación en un lenguaje de programación.
4. Mejorar las habilidades de exposición en público y de preparación de material didáctico para realizar una presentación atractiva.

#### IMPLEMENTACIÓN

El proyecto ha podido desarrollarse siguiendo de forma bastante cercana la temporalización y secuenciación de actividades prevista. En primer lugar, los profesores implicados hablamos con el coordinador del Máster, D. Julio San Román, para conocer los detalles de contextualización e implementación del mismo.

- El número de estudiantes matriculados en el Máster en Física y Tecnología de los Láseres era de 8
- La asignatura de Introducción a la Interacción Láser Materia se iba a impartir en las 4 primeras semanas del curso, y la de Métodos Computacionales en Óptica quedaba distribuida a lo largo de todo el primer cuatrimestre.

Con estas premisas, comenzamos la puesta en acción del proyecto. Podemos resumir las diferentes fases de implementación en los siguientes puntos, contemplados en la memoria inicial:

1. *Definición de "Proyectos"*. En una reunión mantenida en septiembre de 2022, antes de comenzar la asignatura, propusimos una serie de Proyectos o temas de trabajo para el Laboratorio Virtual. Propusimos 6 temas de trabajo, dejando abierta también la opción de que pudieran proponer los estudiantes algún tema que les interesara especialmente. Continuamos con la idea de que trabajen en grupos de 2, por lo que contaríamos con 4 grupos de trabajo, y 6 temas entre los que elegir. Decidimos hacer una breve descripción de cada Proyecto, dejando bastante abierto los puntos a tratar o a investigar: nuestro objetivo es que las preguntas se las planteen ellos, que les surjan a medida que

estudian el problema. El documento elaborado constaba de dos páginas y fue colgado en la página de Studium de la asignatura.

La lista de propuestas realizadas es la siguiente:

#### Experimento 1. Refracción y reflexión en un medio absorbente.

Se trata de visualizar la propagación de una onda monocromática en una superficie de discontinuidad aire-medio absorbente.

Investiga: efecto del índice de refracción y ángulo de incidencia. Propagación a través de una lámina planoparalela delgada, de una cuña....

#### Experimento 2. Cristales biáxicos.

Cálculo de las direcciones de los ejes ópticos de un cristal biáxico (ecuación de Fresnel). Representación de las superficies de índice.

Investiga: diferentes materiales, vectores de Poynting, longitud de onda.

#### Experimento 3. Lámina planoparalela de un cristal uniaxial.

Repasa el problema que hicimos en clase sobre una lámina de niobato de litio. Supón que el haz con el que incidimos es gaussiano. Trata de estudiar la estructura del haz que emerge de la lámina (forma espacial, polarización).

Investiga: diferentes materiales, espesores de la lámina, longitud de onda.

#### Experimento 4. Simulación de SHG.

Resolver las ecuaciones acopladas para los campos fundamental y segundo armónico sin la aproximación de undepleted pump. Se trata de visualizar el flujo de potencia entre ambos haces.

Investiga: efecto del ajuste de fase, cristal con inversión de dominios y cuasiajuste de fase ....

#### Experimento 5. Simulación de SFG.

Resolver las ecuaciones acopladas para los tres campos sin la aproximación de undepleted pump. Se trata de visualizar el flujo de potencia entre los haces incidentes y el generado.

Investiga: efecto de ajuste de fase, efecto de amplitud y fase de los campos incidentes....

#### Experimento 6. Modelo de Lorentz anarmónico (no lineal).

Resolver la ecuación de movimiento de un electrón en un potencial de oscilador anarmónico ( $\propto x^2$  o  $\propto x^3$ ) del material).

Investiga: límite de validez de aproximación lineal, potenciales no polinómicos, espectro emitido por las cargas (generación de armónicos)....

#### Experimento 7. Elige tú.

2. *Asignación de Proyectos.* Los equipos de trabajo los hacemos los profesores, tratando de separar a los estudiantes que han estudiado en la USAL para favorecer la incorporación de los estudiantes que venían de fuera. Los proyectos los eligió cada equipo de forma voluntaria, y uno de los equipos propuso un tema por su cuenta. Esto lo realizamos en la última sesión de la asignatura de Introducción a la Interacción Láser Materia para que tuvieran claro los distintos problemas físicos que les estábamos planteando. La elección la realizaron bastante rápido.
3. *Trabajo de estudiantes y tutorización.* Los estudiantes comenzaron a trabajar por su cuenta y tuvimos una sesión de la asignatura de Métodos dedicada al progreso y tutorización de los proyectos. Por desgracia, abandonaron pronto su dedicación a esta tarea para concentrarse en otras tareas del máster que les demandaban más urgencia. Pese a nuestra propuesta inicial, tuvimos que aplazar la presentación de resultados y dejarlo para el día fijado para evaluación de la asignatura en enero.
4. *Presentación de resultados y evaluación.* Les pedimos que nos enviaran su proyecto al menos un día antes del día de la defensa para tener tiempo a corregirlos y poder interactuar más. El día de la defensa tuvieron 15 minutos cada grupo para presentar el código que habían realizado y los principales resultados obtenidos. Nuestra valoración general de la calidad de los proyectos fue buena, aunque demostraron una dedicación muy irregular. En relación con la interpretación de resultados e investigación con el código, hubo también mucha disparidad
5. *Consecución de objetivos.* Para evaluar el grado de consecución de objetivos, propusimos una encuesta a los estudiantes al finalizar todas las actividades de ambas asignaturas, y posteriormente los profesores mantuvimos una reunión de análisis. Los resultados se detallan en el siguiente apartado.
6. *Elaboración de la memoria final.* La memoria final ha sido elaborada a lo largo de los meses de mayo y junio de 2023.

## EVALUACIÓN DEL ALCANCE DE OBJETIVOS

### A. Valoración por parte del profesorado implicado

- Los Objetivos Generales del proyecto se han alcanzado.
- Los Objetivos Específicos se han alcanzado de una forma irregular entre los distintos estudiantes, ya que su implicación, motivación y dedicación ha sido también muy irregular. En relación con el **O1**, pensamos que la realización de esta actividad ha sido un punto de partida para la utilización más generalizada de Mathematica o Matlab como herramientas de estudio, ya que en ello hemos incidido en más asignaturas del Máster. El **O2** tal vez sea el que, en el caso de algunos estudiantes, no ha sido alcanzado totalmente puesto que varios de ellos se han limitado a realizar el código sin aplicarlo a una mínima investigación. El **O3** también forma parte de objetivos generales planteados a nivel de Máster, y pensamos que nuestra experiencia ha sido el punto de arranque, logrando un razonable grado de autonomía en la fase de modelización/programación. Finalmente, sobre el **O4**, de nuevo el grado de consecución ha sido irregular entre los estudiantes, encontrando exposiciones brillantes y otras que denotaban muy baja preparación. En todo caso, la experiencia ha servido para recordarles las pautas generales de una buena exposición y darles la oportunidad de practicarlo.

### B. Valoración de los/las estudiantes

- Se adjuntan los resultados de las encuestas y los comentarios realizados en el Anexo.

## CONCLUSIONES

A la vista del desarrollo del proyecto, de la percepción del profesorado implicado, y de las opiniones de los alumnos, hemos extraído las siguientes conclusiones que nos sirven de realimentación para cursos sucesivos.

-La implementación de actividades de evaluación que impliquen de forma expresa a varias asignaturas de la titulación es muy positiva y bien valorada por los estudiantes.

-El volumen de trabajo e implicación de los estudiantes de un mismo grupo puede ser muy diferente, resultando poco justa la calificación del proyecto. Tal vez se pueda dar opción a los estudiantes a que elijan trabajar de forma individual o en grupo.

-Sería conveniente reestructurar la secuenciación de la asignatura de Métodos Computacionales para que el temario comience con Matlab o Mathematica y los estudiantes puedan empezar a utilizarlos desde el primer momento.

-Pensamos que dejar la presentación para el final del cuatrimestre repercute negativamente en la dedicación a los proyectos. Nuestra opción sería acordar un día de entrega con los estudiantes, dos o tres semanas después de la finalización de los temas correspondientes de ambas asignaturas.

-Se podría implicar en el Laboratorio Virtual a otras asignaturas del primer cuatrimestre, como por ejemplo Fundamentos de los Láseres, de forma que también se puedan realizar trabajos de temas relacionados con ella. Lo que no tenemos claro es cómo repercutir la calificación de esta actividad en la calificación de las tres asignaturas.

-Nuestra valoración global de la actividad es positiva y proponemos repetir la experiencia en cursos sucesivos, teniendo en cuenta las consideraciones anteriores.

Salamanca, 20 de junio de 2023

Javier Rodríguez

Carolina Romero

Carlos Hernández

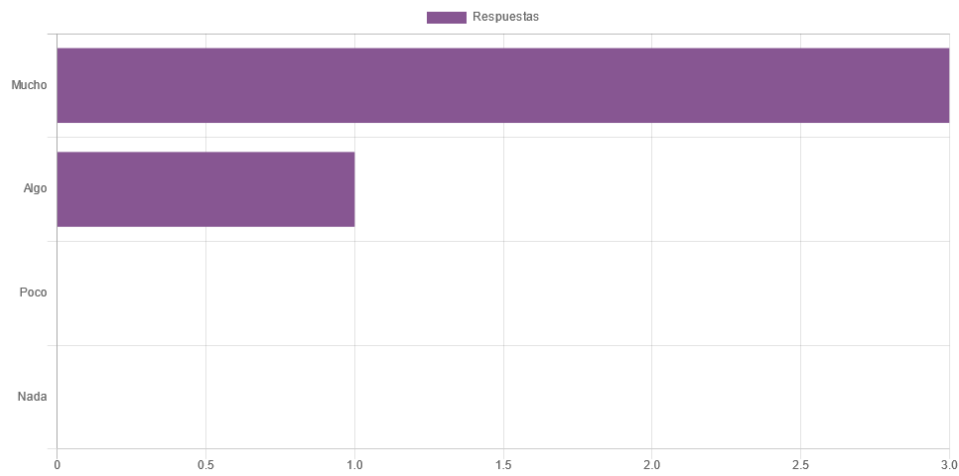
## ANEXO I. RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS REALIZADAS A ESTUDIANTES

Exportar a Excel

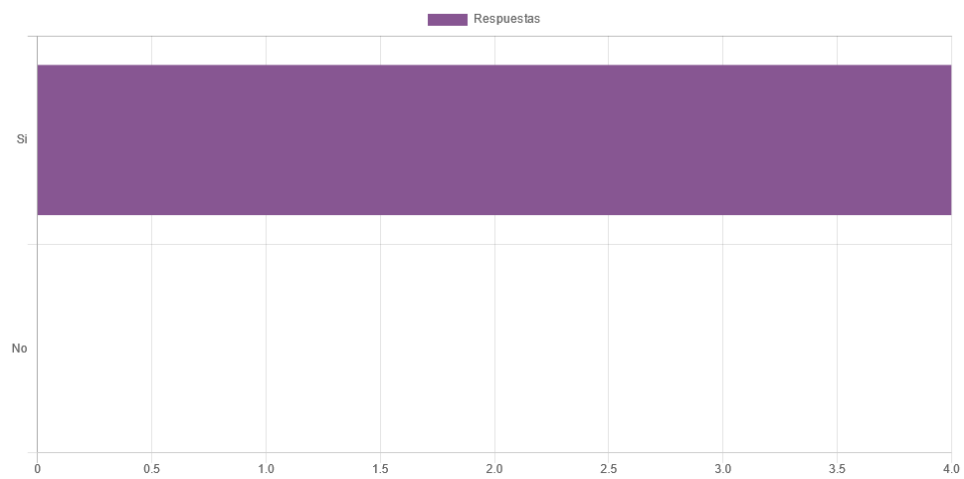
Respuestas enviadas: 4

Preguntas: 4

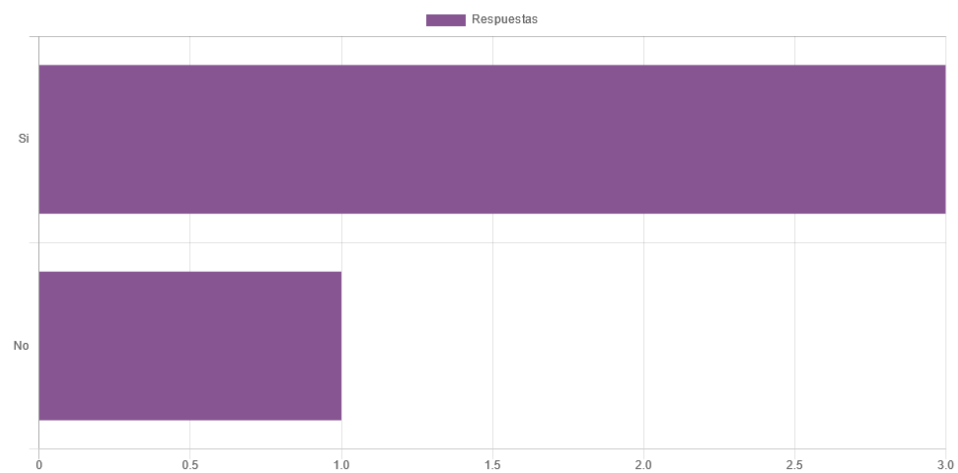
¿Te ha resultado útil la realización del laboratorio virtual para aprender más sobre algún aspecto de la asignatura?



¿Te parece acertado que la tarea se tenga en cuenta también para la evaluación de otra asignatura?



¿Crees que la opción de hacer el trabajo en equipo es mejor que de forma individual?



### **Según tu opinión, ¿cómo se podría mejorar la actividad?**

*-Yo veo la actividad bien planteada, en el sentido de que nos hace fijarnos en detalles y plantearnos dudas que es más difícil que surjan si sólo escuchamos o leemos la teoría. El principal problema es que al final el proyecto es muy específico, y aprendemos mucho de nuestro tema pero otras líneas quedan un poco más "descolgadas". El que sea tan específico también puede hacer difícil compaginarlo con la parte de programación, porque algunos temas no permiten explotar al máximo las herramientas que aprendemos en Métodos Computacionales. Quizás en ese sentido un enfoque más general daría más flexibilidad, aunque también es verdad que en ese caso se profundizaría menos... Así que es un equilibrio complicado, pero en todo caso el planteamiento actual es una buena opción, a mí me ha gustado mucho!!*

*-En sí, la actividad me parece muy interesante. Combinar las dos asignaturas y otorgar la oportunidad de trabajar en equipo es muy buena idea para nuestra formación. El trabajo de un óptico también es ser capaces de simular un problema y obtener conclusiones de esta. Pero, desde mi punto de vista (que puede no ser acertada), la actividad ha sido demasiado libre y los cuatro trabajos presentados han estado enfocados desde puntos de vista muy diferentes. En general, estos estaban poco cohesionados entre sí. A mí sí me gustaría que se repitiese la actividad para futuros años, porque al final todos hemos aprendido algo nuevo. Pero sí intentaría dejar marcado los objetivos del trabajo. Por ejemplo: explicitar qué tareas se tienen que resolver en Mathematica y en Matlab, marcar unos objetivos mínimos (tipo, marcar que como mínimo se tiene que realizar una gráfica 3D o un simulate...), o marcar desde el principio cómo deben ser las diapositivas de la presentación (el número de diapositivas, si el enfoque debe ser teórico o computacional... ), entre otros. Aunque como digo, esta es mi simple opinión.*

*-Personalmente me parece bien planteada la actividad. Si pudiera combinarse con algo más práctico del propio laboratorio, ayudaría a la comprensión. Pero tal vez sea complicado prepararlo.*

## ANEXO II. EVIDENCIAS

Presentamos el código de simulación realizado en Mathematica por un grupo de estudiantes como proyecto de laboratorio virtual.

```
(* Parámetros de simulación: *)

ClearAll[]
|borra todo
E0 = 1; (* Amplitud del campo externo *)
w = 1; (* Frecuencia de oscilación del campo externo *)
w0 = 3; (* Frecuencia de oscilación del sistema *)
b = 0.2; (* Constante de amortiguamiento *)
m = 1; (* Masa del electrón *)

a1 = 5; (* Coeficiente no lineal del término anarmónico de orden 2 *)
a2 = 15; (* Coeficiente no lineal del término anarmónico de orden 3 *)

(*Condiciones iniciales
(para la función y la derivada primera; ecuación diferencial de orden 2) *)
x0 = 0.5;
v0 = 0;

(* Tiempo máximo de la simulación: 50 periodos del campo *)
tfin = 50 * 2 * Pi / w;
|número pi
```

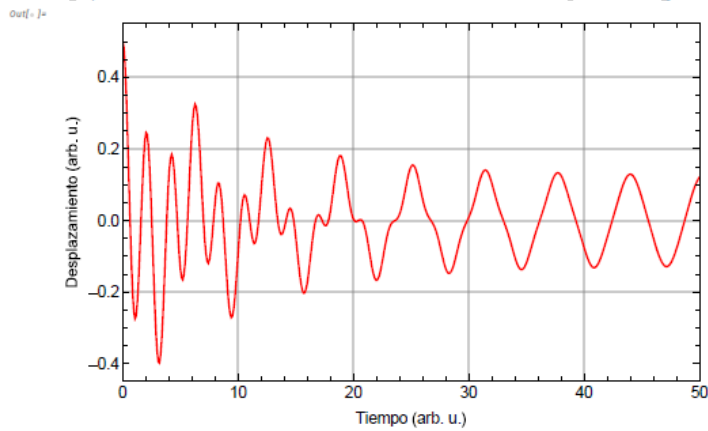
### CASO LINEAL: OSCILADOR ARMÓNICO AMORTIGUADO Y FORZADO

```
(* Resolvemos la ecuación diferencial de movimiento *)
reglas1 = DSolve[{x''[t] + b/m * x'[t] + w0^2 * x[t] == E0 * Exp[-I * w * t]},
|resolvedor diferencial
x[0] == x0, x'[0] == v0}, x[t], t];
sol1[t_] = x[t] /. reglas1[[1]];
```

```

In[ ]:=
(* Representación de la dinámica del electrón *)
Plot[Re[sol1[t]], {t, 0, tfin}, PlotRange -> {{0, 50}, All},
  {repr -> [parte real] [rango de representación] [todo]
  GridLines -> Automatic, PlotTheme -> "Scientific", FrameStyle -> Black,
  {parrilla de lin -> [automático] [tema de representación] [estilo de marco] [negro]
  LabelStyle -> {Black, FontFamily -> "Helvetica", 14}, PlotStyle -> Red,
  {estilo de etiqueta [negro] [familia de tipo de letra] [estilo de repr -> [rojo]
  FrameLabel -> {"Tiempo (arb. u.)", "Desplazamiento (arb. u.)"}, ImageSize -> Large}
  {etiqueta de marco [tamaño de i -> [grande]

```



**CASO NO LINEAL: OSCILADOR ANARMÓNICO DE ORDEN 2 (NO CENTROSIMÉTRICO) AMORTIGUADO Y FORZADO (X\_2 y X\_3)**

```

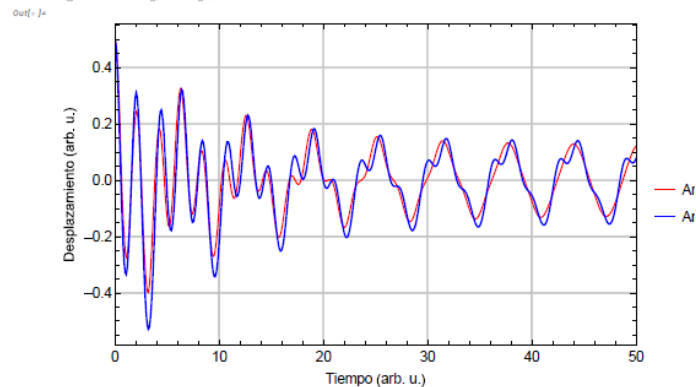
In[ ]:=
(* Resolvemos la ecuación diferencial de movimiento *)
reglas2 = NDSolve[{x''[t] + b/m * x'[t] + w0^2 * x[t] + a1 * x[t]^2 == E0 * Exp[-I * w * t],
  {resolver diferencial numérico [exp -> [número i]
  x[0] == x0, x'[0] == v0}, x, {t, 0, tfin}];
sol2[t_] = x[t] /. reglas2[[1];

```

```

In[ ]:=
(* Representación de la dinámica del electrón *)
Plot[{Re[sol1[t]], Re[sol2[t]]}, {t, 0, tfin}, PlotRange -> {{0, 50}, All},
  {repr -> [parte real] [parte real] [rango de representación] [todo]
  GridLines -> Automatic, PlotTheme -> "Scientific", FrameStyle -> Black,
  {parrilla de lin -> [automático] [tema de representación] [estilo de marco] [negro]
  LabelStyle -> {Black, FontFamily -> "Helvetica", 14}, PlotStyle -> {Red, Blue},
  {estilo de etiqueta [negro] [familia de tipo de letra] [estilo de repr -> [rojo] [azul]
  FrameLabel -> {"Tiempo (arb. u.)", "Desplazamiento (arb. u.)"},
  {etiqueta de marco
  ImageSize -> Large, PlotLegends -> {"Armónico (lineal)", "Anarmónico orden 2"}]
  {tamaño de i -> [grande] [leyendas de representación]

```



**CASO NO LINEAL: OSCILADOR ANARMÓNICO DE ORDEN 3 (CENTROSIMÉTRICO) AMORTIGUADO Y FORZADO (X\_2 = 0 y X\_3)**

```

In[ ]:=
(* Resolvemos la ecuación diferencial de movimiento *)
reglas3 = NDSolve[{x''[t] + b/m * x'[t] + w0^2 * x[t] + a2 * x[t]^3 == E0 * Exp[-I * w * t],
  {resolver diferencial numérico [exp -> [número i]
  x[0] == x0, x'[0] == v0}, x, {t, 0, tfin}];
sol3[t_] = x[t] /. reglas3[[1];

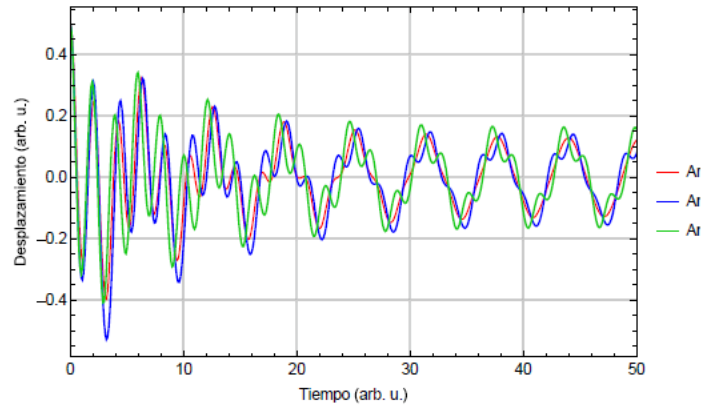
```



in[- ]>

```
(* Representación de la dinámica del electrón *)
Plot[{Re[sol1[t]], Re[sol2[t]], Re[sol3[t]]}, {t, 0, tfin},
  {repr: [parte real] [parte real] [parte real]
  PlotRange -> {{0, 50}, All}, GridLines -> Automatic, PlotTheme -> "Scientific",
  [rango de representación] [todo] [parrilla de lin: [automático] [tema de representación]
  FrameStyle -> Black, LabelStyle -> {Black, FontFamily -> "Helvetica", 14},
  [estilo de marco] [negro] [estilo de etiqueta] [negro] [familia de tipo de letra]
  PlotStyle -> {Red, Blue, RGBColor[0.1, 0.8, 0.1]},
  [estilo de repr: [rojo] [azul] [color RGB]
  FrameLabel -> {"Tiempo (arb. u.)", "Desplazamiento (arb. u.)"}, ImageSize -> Large,
  [etiqueta de marco] [tamaño de i: [grande]
  PlotLegends -> {"Armónico (lineal)", "Anarmónico orden 2", "Anarmónico orden 3"}]
  [leyendas de representación]
```

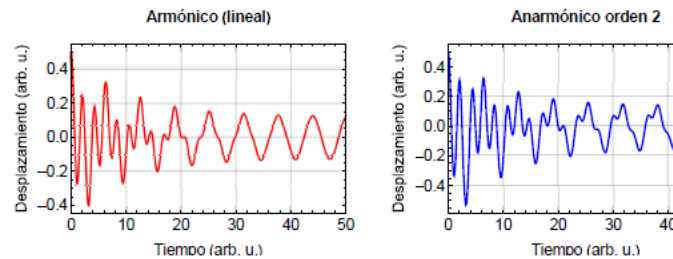
out[- ]>



(\* Representamos los tres casos por separado \*)

```
plot1 = Plot[Re[sol1[t]], {t, 0, tfin}, PlotRange -> {{0, 50}, All},
  [repr: [parte real] [rango de representación] [todo]
  GridLines -> Automatic, PlotTheme -> "Scientific", FrameStyle -> Black,
  [parrilla de lin: [automático] [tema de representación] [estilo de marco] [negro]
  LabelStyle -> {Black, FontFamily -> "Helvetica", 14}, PlotStyle -> Red,
  [estilo de etiqueta] [negro] [familia de tipo de letra] [estilo de repr: [rojo]
  FrameLabel -> {"Tiempo (arb. u.)", "Desplazamiento (arb. u.)"},
  [etiqueta de marco]
  PlotLabel -> Style["Armónico (lineal)", 14, Bold];
  [etiqueta de r: [estilo] [negrita]
  plot2 = Plot[Re[sol2[t]], {t, 0, tfin}, PlotRange -> {{0, 50}, All},
  [repr: [parte real] [rango de representación] [todo]
  GridLines -> Automatic, PlotTheme -> "Scientific", FrameStyle -> Black,
  [parrilla de lin: [automático] [tema de representación] [estilo de marco] [negro]
  LabelStyle -> {Black, FontFamily -> "Helvetica", 14}, PlotStyle -> Blue,
  [estilo de etiqueta] [negro] [familia de tipo de letra] [estilo de repr: [azul]
  FrameLabel -> {"Tiempo (arb. u.)", "Desplazamiento (arb. u.)"},
  [etiqueta de marco]
  PlotLabel -> Style["Anarmónico orden 2", 14, Bold];
  [etiqueta de r: [estilo] [negrita]
  plot3 = Plot[Re[sol3[t]], {t, 0, tfin}, PlotRange -> {{0, 50}, All},
  [repr: [parte real] [rango de representación] [todo]
  GridLines -> Automatic, PlotTheme -> "Scientific", FrameStyle -> Black, LabelStyle ->
  [parrilla de lin: [automático] [tema de representación] [estilo de marco] [negro] [estilo de etiqueta]
  {Black, FontFamily -> "Helvetica", 14}, PlotStyle -> RGBColor[0.1, 0.8, 0.1],
  [negro] [familia de tipo de letra] [estilo de repr: [color RGB]
  FrameLabel -> {"Tiempo (arb. u.)", "Desplazamiento (arb. u.)"},
  [etiqueta de marco]
  PlotLabel -> Style["Anarmónico orden 3", 14, Bold];
  [etiqueta de r: [estilo] [negrita]
  GraphicsGrid[{{plot1, plot2, plot3}}, ImageSize -> 1050, Spacings -> -20]
  [rejilla de gráficos] [tamaño de imagen] [espaciados]
```

out[- ]>



## DOMINIO ESPECTRAL: TRANSFORMADA DE FOURIER DEL DESPLAZAMIENTO

Transformada de Fourier de las señales temporales. Como tenemos funciones de interpolación al resolver las ecuaciones diferenciales, primero creamos listas de datos para muestrear  $x(t)$ . Definimos un paso temporal y un número de puntos (luego lo necesitaremos también para definir el eje de frecuencias).

```
in[ ]:=
dt = 0.05; (* Paso temporal *)
Nt = tfin / dt; (* Número de puntos *)

(* Eje de tiempos *)
time = Table[n, {n, 0, tfin, dt}];

in[ ]:= (* Desplazamiento del electrón para cada caso *)
x1 = Table[sol1[n], {n, 0, tfin, dt}];
x2 = Table[sol2[n], {n, 0, tfin, dt}];
x3 = Table[sol3[n], {n, 0, tfin, dt}];

(* Comandos para guardar en ficheros de datos (para la parte de Matlab *)

(*
SetDirectory[NotebookDirectory[]]
Establece direct... [directorio de cuaderno]

Export["time.txt",time];
Export["x_arm_lineal.txt",Re[x1]];
Export["x_anarm_orden2.txt",Re[x2]];
Export["x_anarm_orden3.txt",Re[x3]];

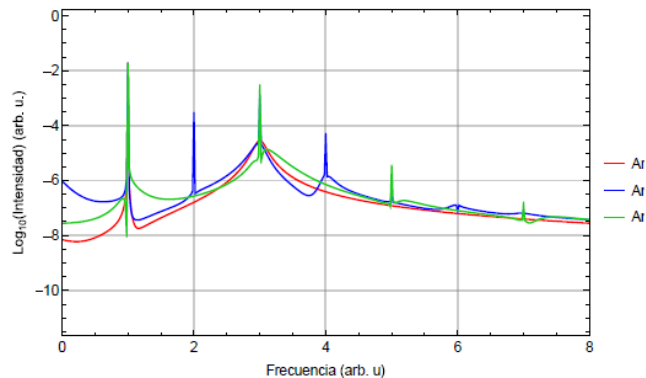
*)

in[ ]:= (* Transformadas de Fourier *)
TFx1 = Fourier[x1, FourierParameters -> {-1, 1}];
TFx2 = Fourier[x2, FourierParameters -> {-1, 1}];
TFx3 = Fourier[x3, FourierParameters -> {-1, 1}];

in[ ]:= (* Eje de frecuencias *)
wmax = Pi / dt;
dw = 2 * Pi / tfin;

in[ ]:= (* Representamos los espectros *)
ListPlot[{Log10[Abs[TFx1]^2], Log10[Abs[TFx2]^2], Log10[Abs[TFx3]^2]},
Joined -> True, DataRange -> {0, 2 * wmax}, PlotRange -> {{0, 8}, All},
PlotStyle -> {Red, Blue, RGBColor[0.1, 0.8, 0.1]},
PlotLegends -> {"Armónico (lineal)", "Anarmónico orden 2", "Anarmónico orden 3"},
GridLines -> Automatic, PlotTheme -> "Scientific", FrameStyle -> Black,
LabelStyle -> {Black, FontFamily -> "Helvetica", 14},
FrameLabel -> {"Frecuencia (arb. u)", "Log10(Intensidad) (arb. u.)", ImageSize -> Large}

out[ ]:=
```



inf. ]>

```
(*) Representamos los espectros por separado *)
g1 = ListPlot[Log10[Abs[TFx1]^2],
  |representar... |logar... |valor absoluto
  Joined -> True, DataRange -> {0, 2 * wmax}, PlotRange -> {{0, 8}, All},
  |unido |verd... |rango de datos |rango de representación |todo
  PlotStyle -> {Red}, GridLines -> Automatic, PlotTheme -> "Scientific",
  |estilo de repre... |rojo |parrilla de lín... |automático |tema de representación
  FrameStyle -> {Black}, LabelStyle -> {Black, FontFamily -> "Helvetica", 14},
  |estilo de marco |negro |estilo de etiqueta |negro |familia de tipo de letra
  FrameLabel -> {"Frecuencia (arb. u)", "Log10(Intensidad) (arb. u.)"},
  |etiqueta de marco
  PlotLabel -> Style["Armónico (lineal)", 14, Bold]];
g2 = ListPlot[Log10[Abs[TFx2]^2],
  |representar... |logar... |valor absoluto
  Joined -> True, DataRange -> {0, 2 * wmax}, PlotRange -> {{0, 8}, All},
  |unido |verd... |rango de datos |rango de representación |todo
  PlotStyle -> {Blue}, GridLines -> Automatic, PlotTheme -> "Scientific",
  |estilo de repre... |azul |parrilla de lín... |automático |tema de representación
  FrameStyle -> {Black}, LabelStyle -> {Black, FontFamily -> "Helvetica", 14},
  |estilo de marco |negro |estilo de etiqueta |negro |familia de tipo de letra
  FrameLabel -> {"Frecuencia (arb. u)", "Log10(Intensidad) (arb. u.)"},
  |etiqueta de marco
  PlotLabel -> Style["Anarmónico orden 2", 14, Bold]];
g3 = ListPlot[Log10[Abs[TFx3]^2], Joined -> True, DataRange -> {0, 2 * wmax},
  |representar... |logar... |valor absoluto |unido |verd... |rango de datos
  PlotRange -> {{0, 8}, All}, PlotStyle -> {RGBColor[0.1, 0.8, 0.1]},
  |rango de representación |todo |estilo de repre... |color RGB
  GridLines -> Automatic, PlotTheme -> "Scientific", FrameStyle -> {Black},
  |parrilla de lín... |automático |tema de representación |estilo de marco |negro
  LabelStyle -> {Black, FontFamily -> "Helvetica", 14},
  |estilo de etiqueta |negro |familia de tipo de letra
  FrameLabel -> {"Frecuencia (arb. u)", "Log10(Intensidad) (arb. u.)"},
  |etiqueta de marco
  PlotLabel -> Style["Anarmónico orden 3", 14, Bold]];
GraphicsGrid[{{g1, g2, g3}}, ImageSize -> 1050, Spacings -> -10]
|rejilla de gráficos |tamaño de imagen |espaciados
```

