

# Cálculo Diferencial e Integral en Varias Variables

Mauro Polenta Mora

## Ejercicio 8

### Consigna

Hallar la solución de cada una de las siguientes ecuaciones diferenciales, con las condiciones iniciales dadas:

1.  $y'' + 2y' + 2y = \cos(2x)$ ,  $y(0) = 1$ ,  $y'(0) = 0$
2.  $y'' + 2y' + 2y = \sin(2x)$ ,  $y(0) = 1$ ,  $y'(0) = 0$
3.  $y'' + 2y' + 2y = \cos(2x) + \sin(2x)$ ,  $y(0) = 1$ ,  $y'(0) = 0$
4.  $y'' + y = 3x^2 - 5x$ ,  $y(0) = 1$ ,  $y'(0) = 0$
5.  $y'' + 4y' + 3y = 3e^x + x$ ,  $y(0) = 1$ ,  $y'(0) = 0$
6.  $y'' + y = (1 + x)^2$ ,  $y(0) = 1$ ,  $y'(0) = 0$
7.  $y'' + 2y' + y = x$ ,  $y(0) = 0$ ,  $y'(0) = 0$
8.  $y'' + y = \cos x$ ,  $y(0) = 0$ ,  $y'(0) = 1$

### Resolución

#### Ecuación 1

- $y'' + 2y' + 2y = \cos(2x)$ ,  $y(0) = 1$ ,  $y'(0) = 0$

Tenemos las siguientes ecuaciones por resolver:

- (H)  $y'' + 2y' + 2y = 0$
- (NH)  $y'' + 2y' + 2y = \cos(2x)$

#### Solución de (H)

Hallemos las raíces de la ecuación característica  $\lambda^2 + 2\lambda + 2 = 0$ :

- $\lambda_1 = -1 + i$
- $\lambda_2 = -1 - i$

Como son imaginarias y diferentes, tenemos que la solución general es la siguiente:

- $y_H = C_1 e^{-x} \cos(x) + C_2 e^{-x} \sin(x)$  y su derivada:
- $y'_H = C_1 (-e^{-x} \cos(x) - e^{-x} \sin(x)) + C_2 (-e^{-x} \sin(x) + e^{-x} \cos(x))$

### Solución de $(NH)$

Buscamos una solución  $y_P$  que tenga la siguiente forma:

- $y_P = A\cos(2x) + B\sin(2x)$
- $y'_P = -2A\sin(2x) + 2B\cos(2x)$
- $y''_P = -4A\cos(2x) - 4B\sin(2x)$

Con esto podemos sustituir en la ecuación diferencial:

$$y'' + 2y' + 2y = \cos(2x)$$

$$\Leftrightarrow$$

$$-4A\cos(2x) - 4B\sin(2x) + 2(-2A\sin(2x) + 2B\cos(2x)) + 2(A\cos(2x) + B\sin(2x)) = \cos(2x)$$

$$\Leftrightarrow$$

$$\sin(2x)(-4B - 4A + 2B) + \cos(2x)(-4A + 4B + 2A) = \cos(2x)$$

De donde obtenemos el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{cases} -4A - 2B = 0 \\ -2A + 4B = 1 \end{cases}$$

De donde obtenemos:

- $B = \frac{1}{5}$
- $A = -\frac{1}{10}$

Entonces la solución particular de  $(NH)$  es la siguiente:

$$y_P = -\frac{1}{10}\cos(2x) + \frac{1}{5}\sin(2x)$$

### Solución general de $(NH)$

- $y_G = y_H + y_P$
- $y_G = C_1 e^{-x}\cos(x) + C_2 e^{-x}\sin(x) - \frac{1}{10}\cos(2x) + \frac{1}{5}\sin(2x)$
- $y'_G = C_1(-e^{-x}\cos(x) - e^{-x}\sin(x)) + C_2(-e^{-x}\sin(x) + e^{-x}\cos(x)) + \frac{2}{10}\sin(2x) + \frac{2}{5}\cos(2x)$

Ahora usamos las condiciones iniciales:

- $y(0) = 1$ , entonces:

$$C_1 e^{-0}\cos(0) + C_2 e^{-0}\sin(0) - \frac{1}{10}\cos(0) + \frac{1}{5}\sin(0) = 1$$

$$\Leftrightarrow$$

$$C_1 - \frac{1}{10} = 1$$

$$\Leftrightarrow$$

$$C_1 = \frac{11}{10}$$

- $y'(0) = 0$ , entonces:

$$\begin{aligned}
& C_1(-e^{-0}\cos(0) - e^{-0}\sin(0)) + C_2(-e^{-0}\sin(0) + e^{-0}\cos(0)) + \frac{2}{10}\sin(0) + \frac{2}{5}\cos(0) \\
& \iff \\
& -C_1 + C_2 + \frac{2}{5} = 0 \\
& \iff (C_1 = \frac{11}{10}) \\
& -\frac{11}{10} + C_2 + \frac{2}{5} = 0 \\
& \iff \\
& C_2 = \frac{7}{10}
\end{aligned}$$

Entonces la solución al problema es:

- $\frac{11}{10}e^{-x}\cos(x) + \frac{7}{10}e^{-x}\sin(x) - \frac{1}{10}\cos(2x) + \frac{1}{5}\sin(2x)$

## Ecuación 2

- $y'' + 2y' + 2y = \sin(2x), \quad y(0) = 1, \quad y'(0) = 0$

Tenemos las siguientes ecuaciones por resolver:

- (H)  $y'' + 2y' + 2y = 0$
- (NH)  $y'' + 2y' + 2y = \sin(2x)$

### Solución de (H)

Hallemos las raíces de la ecuación característica  $\lambda^2 + 2\lambda + 2 = 0$ :

- $\lambda_1 = -1 + i$
- $\lambda_2 = -1 - i$

Como son imaginarias y diferentes, tenemos que la solución general es la siguiente:

- $y_H = C_1e^{-x}\cos(x) + C_2e^{-x}\sin(x)$  y su derivada:
- $y'_H = C_1(-e^{-x}\cos(x) - e^{-x}\sin(x)) + C_2(-e^{-x}\sin(x) + e^{-x}\cos(x))$

### Solución de (NH)

Buscamos una solución  $y_P$  que tenga la siguiente forma:

- $y_P = A\cos(2x) + B\sin(2x)$
- $y'_P = -2A\sin(2x) + 2B\cos(2x)$
- $y''_P = -4A\cos(2x) - 4B\sin(2x)$

Con esto podemos sustituir en la ecuación diferencial:

$$y'' + 2y' + 2y = \sin(2x)$$

$\Leftrightarrow$

$$-4A \cos(2x) - 4B \sin(2x) + 2(-2A \sin(2x) + 2B \cos(2x)) + 2(A \cos(2x) + B \sin(2x)) = \sin(2x)$$

$\Leftrightarrow$

$$\sin(2x)(-4B - 4A + 2B) + \cos(2x)(-4A + 4B + 2A) = \sin(2x)$$

De donde obtenemos el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{cases} -4A - 2B = 1 \\ -2A + 4B = 0 \end{cases}$$

De donde obtenemos que:

- $A = -\frac{1}{5}$
- $B = -\frac{1}{10}$

Entonces la solución particular de  $(NH)$  es la siguiente:

- $y_P = -\frac{1}{5} \cos(2x) - \frac{1}{10} \sin(2x)$

**Solución general de  $(NH)$**

- $y_G = y_H + y_P$
- $y_G = C_1 e^{-x} \cos(x) + C_2 e^{-x} \sin(x) - \frac{1}{5} \cos(2x) - \frac{1}{10} \sin(2x)$
- $y'_G = C_1 (-e^{-x} \cos(x) - e^{-x} \sin(x)) + C_2 (-e^{-x} \sin(x) + e^{-x} \cos(x)) - \frac{2}{5} \sin(2x) - \frac{1}{5} \cos(2x)$

Ahora usamos las condiciones iniciales:

- $y(0) = 1$ , entonces:

$$C_1 e^{-0} \cos(0) + C_2 e^{-0} \sin(0) - \frac{1}{5} \cos(0) - \frac{1}{10} \sin(0) = 1$$

$\Leftrightarrow$

$$C_1 - \frac{1}{5} = 1$$

$\Leftrightarrow$

$$C_1 = \frac{6}{5}$$

- $y'(0) = 0$ , entonces:

$$\begin{aligned}
& C_1(-e^{-0}\cos(0) - e^{-0}\sin(0)) + C_2(-e^{-0}\sin(0) + e^{-0}\cos(0)) - \frac{2}{5}\sin(0) - \frac{1}{5}\cos(0) = 0 \\
& \iff \\
& -C_1 + C_2 - \frac{1}{5} = 0 \\
& \iff (C_1 = \frac{6}{5}) \\
& -\frac{6}{5} + C_2 - \frac{1}{5} = 0 \\
& \iff \\
& C_2 = \frac{7}{5}
\end{aligned}$$

Entonces la solución al problema es:

- $y_G = \frac{6}{5}e^{-x}\cos(x) + \frac{7}{5}e^{-x}\sin(x) - \frac{1}{5}\cos(2x) - \frac{1}{10}\sin(2x)$

### Ecuación 3

- $y'' + 2y' + 2y = \cos(2x) + \sin(2x), \quad y(0) = 1, \quad y'(0) = 0$

Observemos que ya tenemos una solución general para:

- $y'' + 2y' + 2y = \cos(2x)$
- $y'' + 2y' + 2y = \sin(2x)$

Sumar las soluciones generales, nos da la solución general de la ecuación diferencial que queremos resolver, entonces hacemos eso:

$$\begin{aligned}
y_G &= (C_1e^{-x}\cos(x) + C_2e^{-x}\sin(x) - \frac{1}{10}\cos(2x) + \frac{1}{5}\sin(2x)) + (C_1e^{-x}\cos(x) + C_2e^{-x}\sin(x) - \frac{1}{5}\cos(2x) - \frac{1}{10}\sin(2x)) \\
y_G &= C_1e^{-x}\cos(x) + C_2e^{-x}\sin(x) - \frac{3}{10}\cos(2x) + \frac{1}{10}\sin(2x)
\end{aligned}$$

Calculamos también la derivada ya que la vamos a utilizar:

- $y'_G = C_1(-e^{-x}\cos(x) - e^{-x}\sin(x)) + C_2(-e^{-x}\sin(x) + e^{-x}\cos(x)) + \frac{3}{5}\sin(2x) + \frac{1}{5}\cos(2x)$ , simplificando:
- $y'_G = C_1e^{-x}(-\cos(x) - \sin(x)) + C_2e^{-x}(-\sin(x) + \cos(x)) + \frac{3}{5}\sin(2x) + \frac{1}{5}\cos(2x)$

Ahora, aplicando las condiciones iniciales:

- $y(0) = 1$ , entonces:

$$C_1 e^{-0} \cos(0) + C_2 e^{-0} \sin(0) - \frac{3}{10} \cos(0) + \frac{1}{10} \sin(0) = 1$$

$$\Leftrightarrow$$

$$C_1 - \frac{3}{10} = 1$$

$$\Leftrightarrow$$

$$C_1 = \frac{13}{10}$$

- $y'(0) = 0$ , entonces:

$$C_1 e^{-0} (-\cos(0) - \sin(0)) + C_2 e^{-0} (-\sin(0) + \cos(0)) + \frac{3}{5} \sin(0) + \frac{1}{5} \cos(0) = 0$$

$$\Leftrightarrow$$

$$-C_1 + C_2 + \frac{1}{5} = 0$$

$$\Leftrightarrow (C_1 = \frac{13}{10})$$

$$-\frac{13}{10} + C_2 + \frac{1}{5} = 0$$

$$\Leftrightarrow$$

$$C_2 = \frac{11}{10}$$

Entonces la solución al problema es:

- $y_G = \frac{13}{10} e^{-x} \cos(x) + \frac{11}{10} e^{-x} \sin(x) - \frac{3}{10} \cos(2x) + \frac{1}{10} \sin(2x)$

## Ecuación 4

- $y'' + y = 3x^2 - 5x, \quad y(0) = 1, y'(0) = 0$

Tenemos las siguientes ecuaciones por resolver:

- (H)  $y'' + y = 0$
- (NH)  $y'' + y = 3x^2 - 5x$

## Solución de (H)

Halleemos las raíces de la ecuación característica  $\lambda^2 + 1 = 0$ :

- $\lambda_1 = i$
- $\lambda_2 = -i$

Como son imaginarias y diferentes, tenemos que la solución general es la siguiente:

- $y_H = C_1 \cos(x) + C_2 \sin(x)$  y su derivada:
- $y'_H = -C_1 \sin(x) + C_2 \cos(x)$

### Solución de $(NH)$

Buscamos una solución  $y_P$  que tenga la siguiente forma:

- $y_P = Ax^2 + Bx + C$
- $y'_P = 2Ax + B$
- $y''_P = 2A$

Con esto podemos sustituir en la ecuación diferencial:

$$\begin{aligned}y'' + y &= 3x^2 - 5x \\ \Leftrightarrow \\ 2A + Ax^2 + Bx + C &= 3x^2 - 5x \\ \Leftrightarrow \\ Ax^2 + Bx + (C + 2A) &= 3x^2 - 5x\end{aligned}$$

De donde obtenemos el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{cases} A = 3 \\ B = -5 \\ C + 2A = 0 \end{cases}$$

De donde obtenemos que:

- $C = -6$

Entonces la solución particular de  $(NH)$  es la siguiente:

- $y_P = 3x^2 - 5x - 6$

### Solución general de $(NH)$

- $y_G = y_H + y_P$
- $y_G = C_1 \cos(x) + C_2 \sin(x) + 3x^2 - 5x - 6$
- $y'_G = -C_1 \sin(x) + C_2 \cos(x) + 6x - 5$

Ahora usamos las condiciones iniciales:

- $y(0) = 1$ , entonces:

$$\begin{aligned}C_1 \cos(x) + C_2 \sin(x) + 3x^2 - 5x - 6 \\ \Leftrightarrow \\ C_1 - 6 &= 1 \\ \Leftrightarrow \\ C_1 &= 7\end{aligned}$$

- $y'(0) = 0$ , entonces:

$$-C_1 \sin(x) + C_2 \cos(x) + 6x - 5 = 0$$

$$\Leftrightarrow$$

$$C_2 - 5 = 0$$

$$\Leftrightarrow$$

$$C_2 = 5$$

Entonces la solución al problema es:

- $y_G = 7 \cos(x) + 5 \sin(x) + 3x^2 - 5x - 6$