

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

La Óptica Electromagnética considera la luz como un fenómeno electromagnético.



Ecuaciones de Maxwell  
microscópicas

$$\nabla \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \vec{B} = 0$$

$$\nabla \wedge \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

La onda asociada al fenómeno debe satisfacer las ecuaciones de Maxwell.

**Involucran materia y campos**

E= campo eléctrico (V/m)

B= inducción magnética (T)

$\rho$  = densidad de carga, carga/volumen (C/m<sup>3</sup>)

$i$  = densidad de corriente, carga velocidad/volumen (A/m<sup>2</sup>)

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

Ecuación de continuidad: relación entre cargas y corrientes

$$\nabla \cdot \vec{j} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

Fuerza que ejercen los campos sobre las cargas: Ley de Lorentz

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \frac{d\vec{r}}{dt} \wedge \vec{B})$$

El campo **E** variable en el tiempo induce un campo **B**,

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

$$\nabla \vec{E} = \rho / \epsilon_0$$

$$\nabla \vec{B} = 0$$

$$\nabla \times \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0$$

$$\frac{1}{\mu_0} \nabla \times \vec{B} - \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \vec{j}$$

$$\vec{F} = q\vec{E} + q \frac{d\vec{r}}{dt} \times \vec{B}$$

$$\rho \vec{j} \longleftrightarrow \vec{E} \vec{B}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

Ondas electromagnéticas en el vacío: sin cargas ni corrientes

$$\left. \begin{aligned} \nabla \cdot \vec{E} &= 0 \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0 \\ \nabla \wedge \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \nabla \wedge \vec{B} &= \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \end{aligned} \right\} \rightarrow \begin{aligned} \nabla^2 \vec{E} &= \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} && \text{Ecuación de ondas} \\ \nabla^2 \vec{B} &= \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \\ c &= \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} && \text{Velocidad de la luz} \\ c &= 299792.458 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

Ondas armónicas: También se les llama ondas monocromáticas (cada frecuencia produce una sensación de color).

$$E_x(\vec{r}, t) = A_x(\vec{r}) \cos(\omega t - g_x(\vec{r}))$$

$$E_y(\vec{r}, t) = A_y(\vec{r}) \cos(\omega t - g_y(\vec{r}))$$

$$E_z(\vec{r}, t) = A_z(\vec{r}) \cos(\omega t - g_z(\vec{r}))$$

Amplitud de la onda:  $A_j(\vec{r})$

Fase de la onda: el argumento del coseno

$$\omega t - g_j(\vec{r}) \quad j = x, y, z$$

Frecuencia angular:

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T} \text{ (rad/s)}$$

Cartagena99

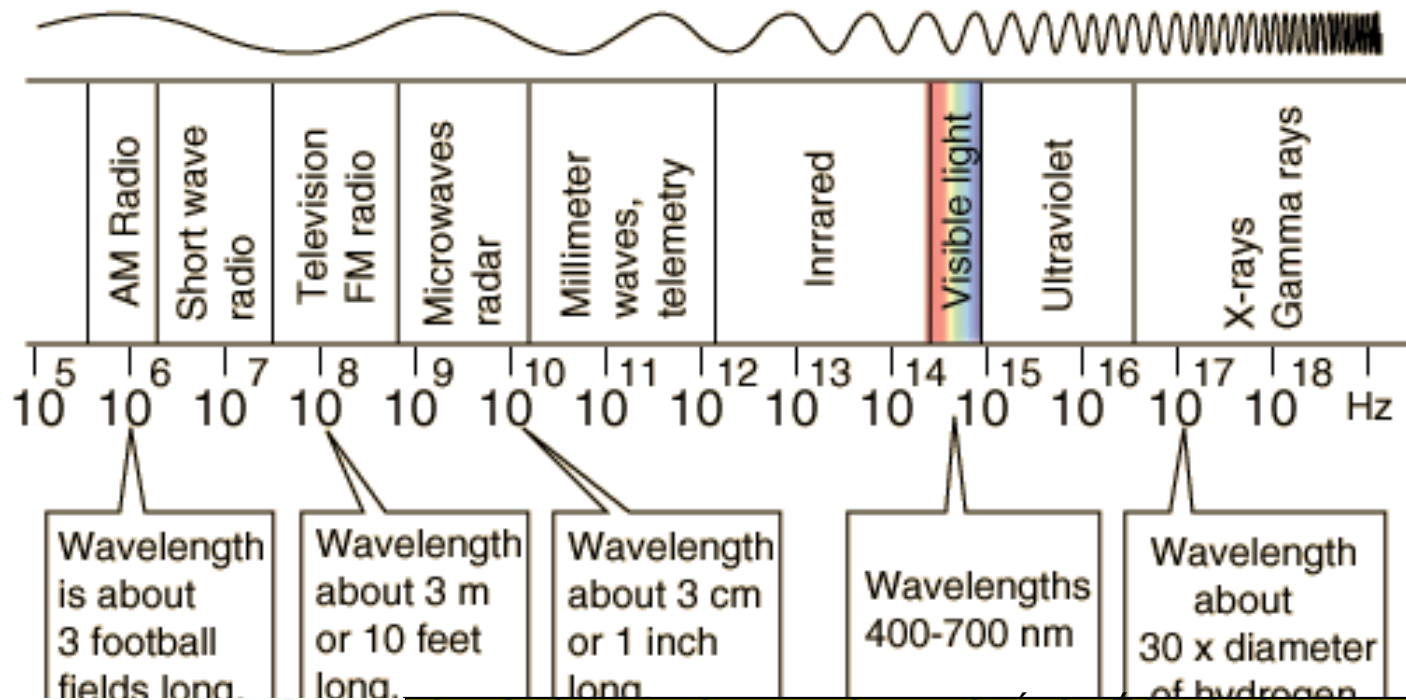
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

## Espectro electromagnético



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

## Representación compleja

$$E_x(\vec{r}, t) = \Re\{A_x(\vec{r})\exp(i\vec{g}_x(\vec{r}))\exp(-i\omega t)\} = \Re\{A_x(\vec{r})\exp(i(\vec{g}_x(\vec{r}) - \omega t))\}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

Frentes de onda: para un tiempo determinado, es el conjunto de puntos del espacio donde la onda tiene la misma fase.

Los frentes de onda se van propagando.

$$fase = \omega t - g(\vec{r}) = cte$$

- Dependen del tiempo.
- Los frentes de onda se van propagando: velocidad de fase

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

Ondas esféricas: a tiempo fijo toma el mismo valor sobre esferas

$$E_j(\vec{r}, t) \rightarrow E_j(|\vec{r}|, t) \quad |\vec{r}| = cte \quad \text{ecuación de una esfera}$$

Ondas planas: para un tiempo determinado, el campo tiene el mismo valor sobre superficies que son planos.

$$E_j(\vec{r}, t_0) = cte \quad \vec{r} \in \Pi$$

Ecuación de un plano de vector director  $\mathbf{k}$ :  $\vec{k} \cdot \vec{r} = cte$

La onda depende de su proyección sobre la dirección de propagación, ortogonal a los planos.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

Ondas armónicas planas: se impone una solución a la ecuación de ondas que sea onda plana y armónica.

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_0 \exp(i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t))$$

$$\vec{B}(\vec{r}, t) = \vec{B}_0 \exp(i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t))$$

- $\vec{E}_0$  y  $\vec{B}_0$  son vectores complejos constantes.
- $k$  es un vector real

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

## Ondas armónicas planas (o.a.p.)

$$\nabla \cdot \vec{E} = 0$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \wedge \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \wedge \vec{B} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$



$$\vec{k} \cdot \vec{E}_0 = 0$$

$$\vec{k} \cdot \vec{B}_0 = 0$$

$$\vec{E}_0 = -\frac{c^2}{\omega} (\vec{k} \wedge \vec{B}_0)$$

$$\vec{B}_0 = \frac{1}{\omega} (\vec{k} \wedge \vec{E}_0)$$



$$\vec{k} \cdot \vec{E} = 0$$

$$\vec{k} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{E} = -\frac{c^2}{\omega} (\vec{k} \wedge \vec{B})$$

$$\vec{B} = \frac{1}{\omega} (\vec{k} \wedge \vec{E})$$



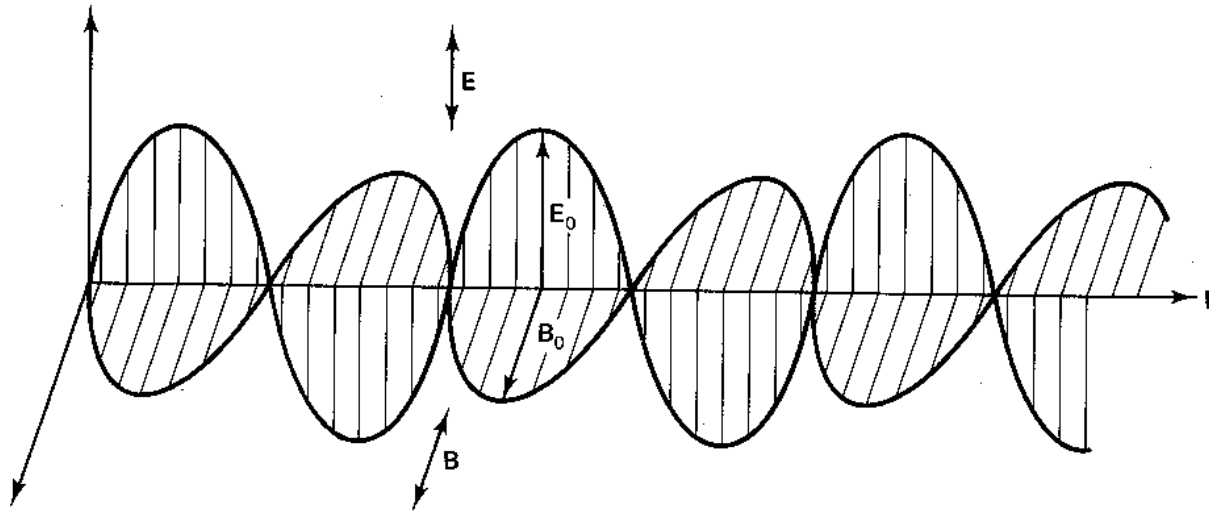
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

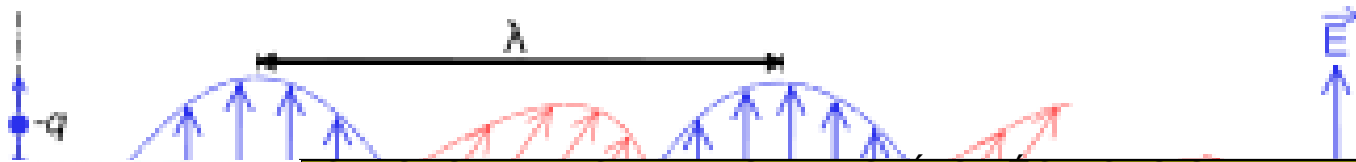
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío



**Figure 8-7** Plane electromagnetic wave. The electric field  $E$ , magnetic field  $B$ , and propagation vector  $k$  are everywhere mutually perpendicular.



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

## Ondas armónicas planas

$$|\vec{k}|^2 = \frac{\omega^2}{c^2}$$

$$k = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi\nu}{c} \equiv \frac{2\pi}{\lambda}$$



$$\lambda\nu = c$$

Longitud de onda del visible:  $400 \text{ nm} \leq \lambda \leq 750 \text{ nm}$

Los frentes de ondas se desplazan en la dirección del vector  $\mathbf{k}$  a velocidad  $c$ .

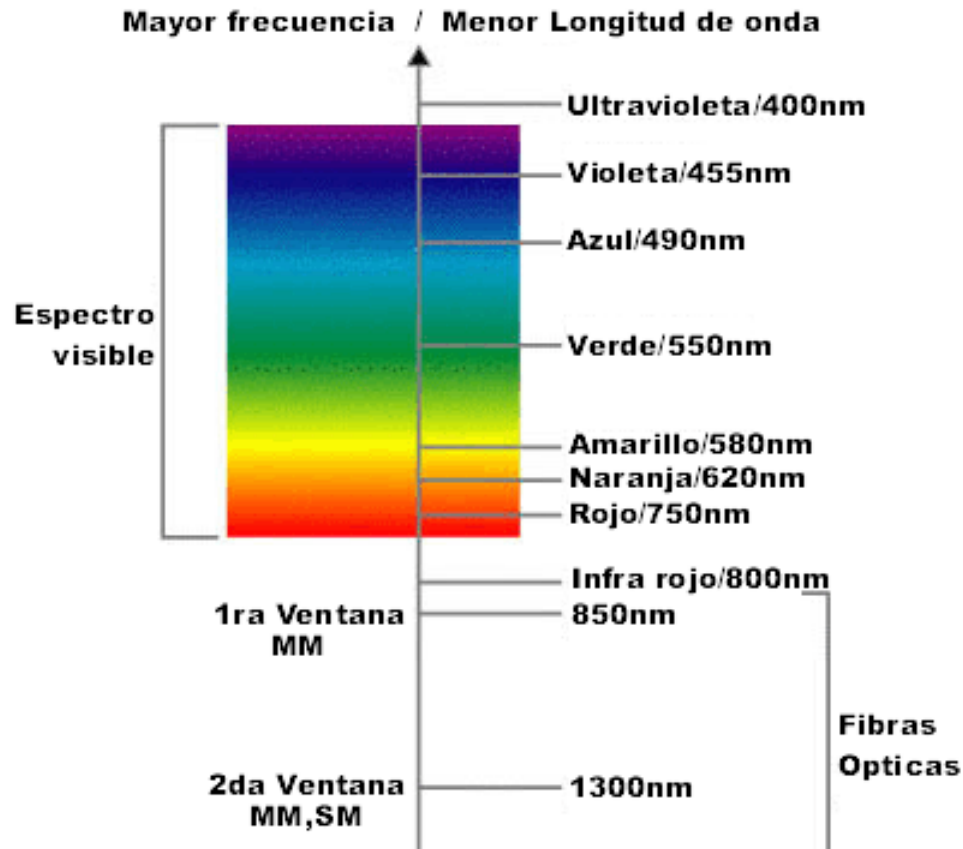
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

## Ondas armónicas planas inhomogéneas

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_0 e^{i(\vec{k}_c \cdot \vec{r} - \omega t)} = \vec{E}_0 e^{-\vec{a} \cdot \vec{r}} e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)}$$

$$\vec{k}_c = \vec{k} + i\vec{a} \quad \text{vector de ondas complejo}$$

$\vec{a}$  vector de atenuación, real

Aplicando las ecuaciones de Maxwell:

$$\vec{k}_c \cdot \vec{E}_0 = 0$$

$$\vec{k}_c^2 = \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 \rightarrow \begin{cases} \vec{k}^2 - \vec{a}^2 = \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 \\ \vec{k} \cdot \vec{a} = 0 \end{cases}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

## Ondas armónicas esféricas

$$\vec{E}(\vec{r}, t) \propto \frac{e^{i(\pm k|\vec{r}|-\omega t)}}{|\vec{r}|}, \quad |\vec{r}| \neq 0, \quad k = \frac{\omega}{c}$$

Suele usarse para describir fuentes de luz puntuales.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

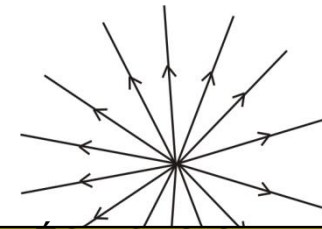
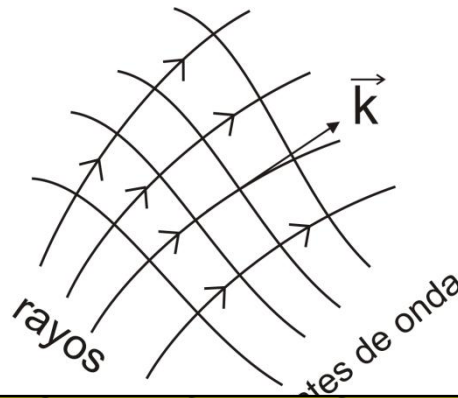
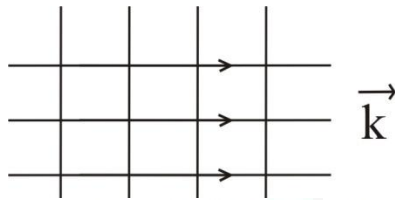
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

Se llaman **rayos** a las **trayectorias perpendiculares a los frentes de onda**

- \* son **aproximaciones** locales de la onda en cada punto por una onda plana
- \* se aprovecha que en una onda plana **todo** se propaga en la dirección del vector de ondas
- \* estudio de las trayectorias posibles = Óptica Geométrica



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

de un punto

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

**Intensidad:** la onda transporta energía en su propagación.

Se define el vector de Poynting:

$$\vec{S} \equiv \frac{1}{\mu_0} (\vec{E} \wedge \vec{B}) \quad (\text{W/m}^2)$$

- Energía por unidad de superficie y de tiempo.
- **Los campos en representación real.**
- La potencia que atraviesa una superficie A es

$P = \int d\vec{a} \cdot \vec{S}$  se le suele llamar intensidad luminosa

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

Para una o.a.p.:

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E}_R \wedge \left( \frac{1}{\omega} \vec{k} \wedge \vec{E}_R \right) = \frac{1}{\mu_0 \omega} (\vec{E}_R)^2 \vec{k} = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} (\vec{E}_R)^2 \vec{u}_k$$

La energía se propaga en la dirección del vector de ondas.  
La energía es proporcional al cuadrado del campo eléctrico.  
Varía muy rápidamente con el tiempo.

Promedio temporal de S:

$$\langle \vec{S} \rangle(t) = \frac{1}{\Delta t} \int_{t-\Delta t}^{t+\Delta t} \vec{S}(\vec{r}, t') dt'$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

Para una onda armónica

$$\vec{E}_R(\vec{r}, t) = \frac{1}{2} (\vec{E}_0(\vec{r})e^{-i\omega t} + \vec{E}_0^*(\vec{r})e^{i\omega t})$$

$$\vec{B}_R(\vec{r}, t) = \frac{1}{2} (\vec{B}_0(\vec{r})e^{-i\omega t} + \vec{B}_0^*(\vec{r})e^{i\omega t})$$

$$\vec{S} = \frac{1}{4\mu_0} (\vec{E}_0 \wedge \vec{B}_0^* + \vec{E}_0^* \wedge \vec{B}_0 + \vec{E}_0 \wedge \vec{B}_0 e^{-2i\omega t} + \vec{E}_0^* \wedge \vec{B}_0^* e^{2i\omega t})$$

$$\frac{1}{\Delta t} \int_{\Delta t} dt' e^{\pm i2\omega t'} \approx \frac{1}{\omega \Delta t}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

$$\langle \vec{S} \rangle = \frac{1}{4\mu_0} (\vec{E}_0 \wedge \vec{B}_0^* + \vec{E}_0^* \wedge \vec{B}_0) = \frac{1}{2\mu_0} \Re(\vec{E}(\vec{r}, t) \wedge \vec{B}^*(\vec{r}, t))$$

Para una onda armónica plana:

$$\langle \vec{S} \rangle = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} |\vec{E}_0|^2 \vec{u}_k$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

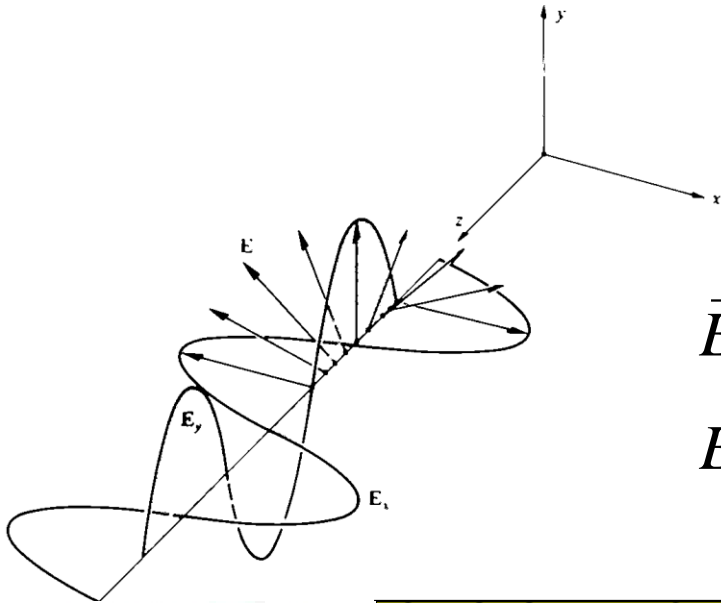
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

Para una onda armónica el vector  $\mathbf{E}$  está siempre en un plano.

**Polarización:** la trayectoria que describe el vector  $\mathbf{E}$  en el plano (plano XY eligiendo el vector  $\mathbf{k}$  en la dirección z).



$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_0(\vec{r}) \exp(i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t))$$

$$E_j = |E_{0j}| \exp(i\delta_j) \exp(i\omega t)$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

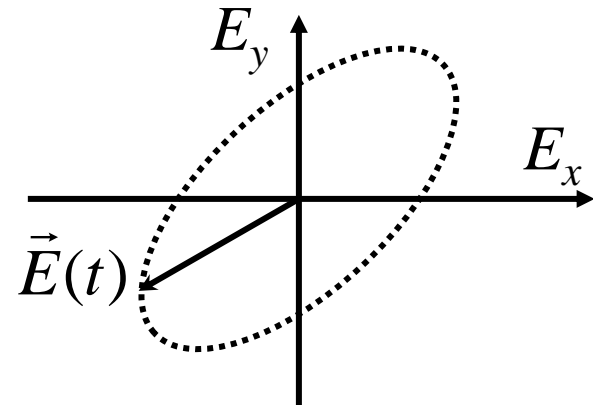
Elegimos  $k$  en la dirección del eje  $z$   $\rightarrow E_z = 0$

$$E_x(z, t) = |E_{0x}| \exp(i(\delta_x + \omega t))$$

$$E_y(z, t) = |E_{0y}| \exp(i(\delta_y + \omega t))$$

$$E_x = |E_{0x}| \cos(\omega t + \delta_x)$$

$$E_y = |E_{0y}| \cos(\omega t + \delta_y)$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

## Polarización

- El extremo del vector  $E$  recorre una elipse en el tiempo.
- Puede recorrerla en sentido horario (**dextrógiro** o dextro) o antihorario (**levógiro** o levo), visto cuando la onda viene hacia nosotros.
- La forma de la elipse con su sentido de giro se llama **estado de polarización**.
- El tamaño de la elipse no importa para el estado de polarización.
- El **estado de polarización depende del cociente de amplitudes y la diferencia de fase**.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



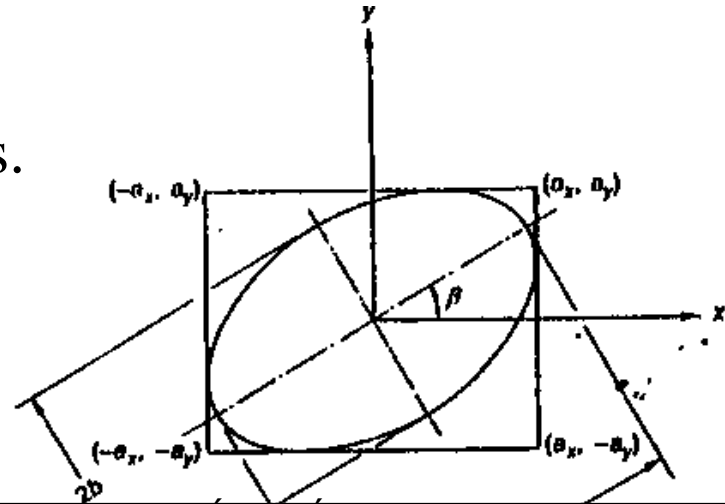
# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

Eliminando la dependencia temporal:

$$\left(\frac{E_x}{|E_{0x}|}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{|E_{0y}|}\right)^2 - \frac{2E_x E_y}{|E_{0x}| |E_{0y}|} \cos(\delta_y - \delta_x) = \sin^2(\delta_y - \delta_x)$$

- Trayectoria elíptica fuera de ejes.

$$\operatorname{tg}(2\beta) = \frac{2|E_{0x}| |E_{0y}| \cos(\delta_y - \delta_x)}{|E_{0x}|^2 - |E_{0y}|^2}$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

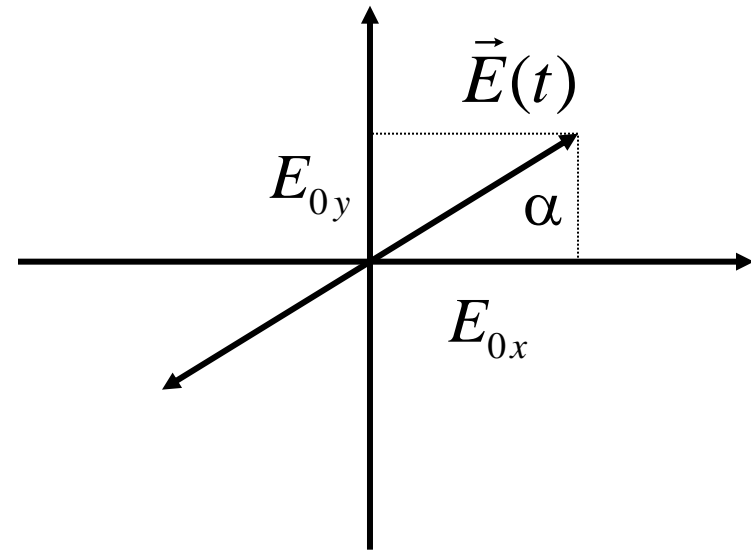
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

## Polarización (tipos)

- Lineal: 
$$\begin{cases} \delta = \delta_y - \delta_x = n\pi \\ |E_{0x}| = 0 \\ |E_{0y}| = 0 \end{cases}$$

$$\frac{E_x}{|E_{0x}|} = \pm \frac{E_y}{|E_{0y}|}$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

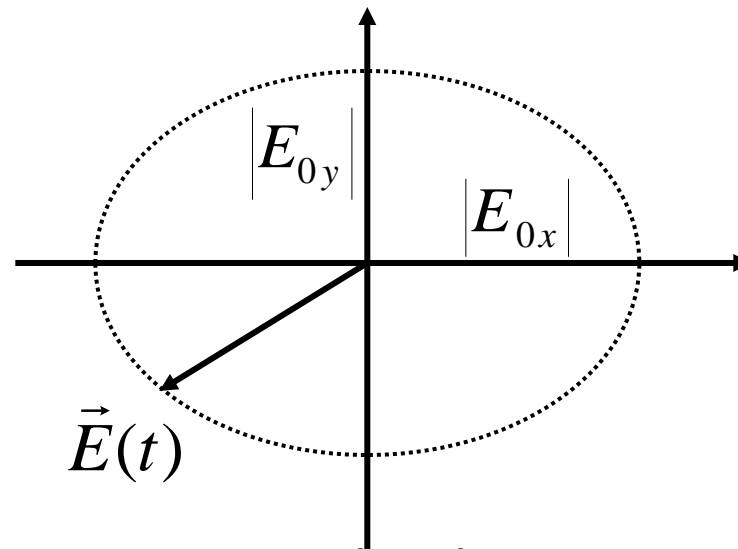
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

## Polarización (tipos)

- Elíptica referida a ejes,  $\delta = \pm(2n+1)\pi/2$ ,  $|E_{0x}| \neq |E_{0y}|$

$$\left(\frac{E_x}{|E_{0x}|}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{|E_{0y}|}\right)^2 = 1$$



$\delta = \pi/2$  dextrógira

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

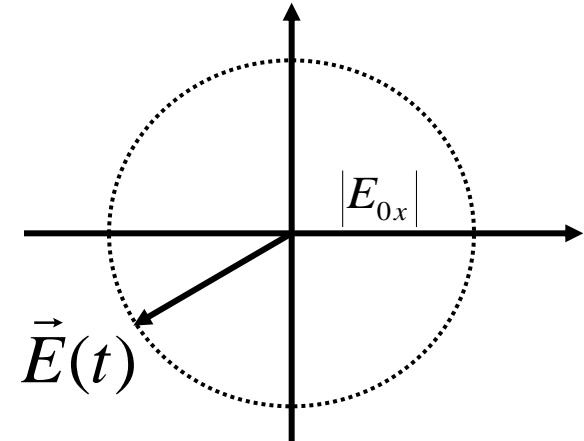
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

## Polarización (tipos)

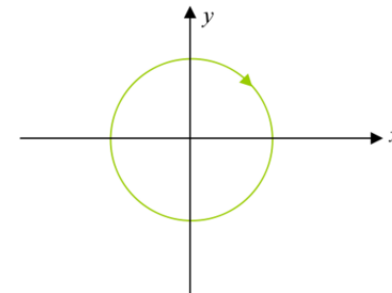
- Circular: 
$$\begin{cases} \delta = \delta_y - \delta_x = \pm(2n+1)\pi/2 \\ y \\ |E_{0x}| = |E_{0y}| \end{cases}$$



$$(E_x)^2 + (E_y)^2 = |E_{0x}|^2$$

$\delta = \pi/2$  dextrógira

$\delta = -\pi/2$  levógira



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

## Polarización (tipos)

- Luz despolarizada
  1. Aquella en que el vector campo eléctrico se mueve irregularmente y no muestra ninguna preferencia direccional o rotacional
  2. Se puede representar como una superposición incoherente de estados totalmente polarizados

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

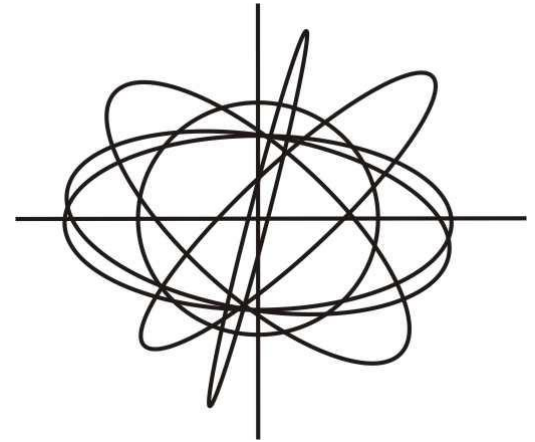
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

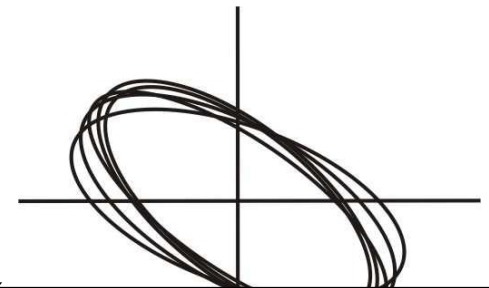
La luz natural es luz no polarizada, luz despolarizada:

- Onda no armónica
- Su estado de polarización depende del tiempo y la onda pasa por todos los estados de polarización con igual probabilidad de forma aleatoria.



Luz parcialmente polarizada:

- Cuando algunos estados de polarización son más probables que otros.
- La luz parcialmente polarizada se estudia con los



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

## Polarización

- Notación de Jones
  1. Se deja implícita la dependencia espacial
  2. Se mantienen los parámetros de interés en polarización: relación de amplitudes y desfase relativo
  3. Solo es posible describir estado totalmente polarizados
  4.  $I$  proporcional a  $\vec{E}_0 \vec{E}_0^*$

$$\vec{E} = \left( |E_{0x}| e^{-i\delta_x} \right) e^{-i\delta_y} \left( |E_{0x}| e^{i(\delta_y - \delta_x)} \right)$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

## Polarización (Notación de Jones)

1. Luz lineal, azimut  $\alpha$ .
2. Luz elíptica referida a ejes.
3. Luz circular.
4. Luz elíptica.

$$\begin{pmatrix} \pm |E_{0x}| \\ |E_{0y}| \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \pm i |E_{0x}| \\ |E_{0y}| \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \pm i \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} |E_{0x}| e^{i(\delta_y - \delta_x)} \\ |E_{0y}| \end{pmatrix}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

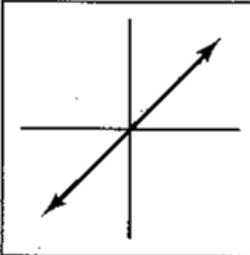
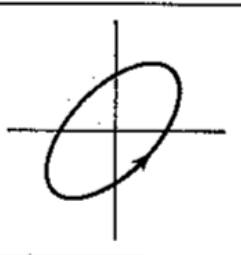
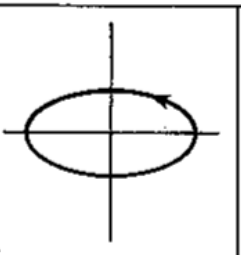
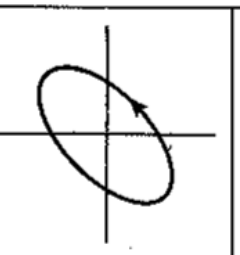
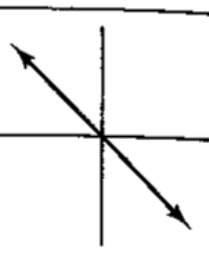
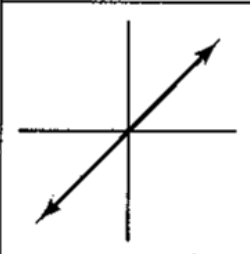
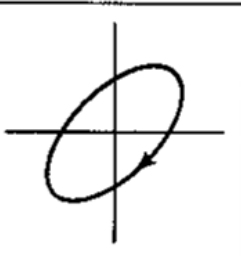
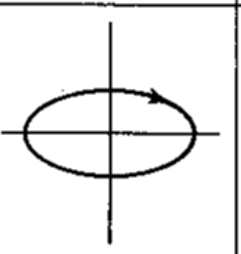
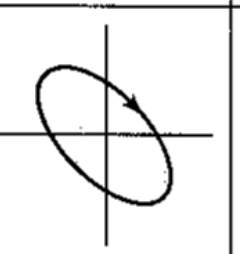
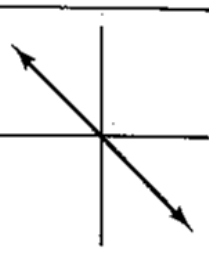
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

## Manipulación de estados polarizados

				
$\Delta\phi = 0^\circ$	$\Delta\phi = 45^\circ$	$\Delta\phi = 90^\circ$	$\Delta\phi = 135^\circ$	$\Delta\phi = 180^\circ$
				
$\Delta\phi = 360^\circ$	$\Delta\phi = \begin{cases} -45^\circ \\ 315^\circ \end{cases}$	$\Delta\phi = \begin{cases} -90^\circ \\ 270^\circ \end{cases}$	$\Delta\phi = \begin{cases} -135^\circ \\ 225^\circ \end{cases}$	$\Delta\phi = \pm 180^\circ$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Manipulación de estados de polarización

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

Parámetros de Stokes: otra descripción para el estado de polarización de una onda.

$$S_0 = E_{0x}^2 + E_{0y}^2$$

$$S_1 = E_{0x}^2 - E_{0y}^2$$

$$S_2 = 2E_{0x}E_{0y} \cos \delta$$

$$S_3 = 2E_{0x}E_{0y} \sin \delta$$

$S_0$  es proporcional a la intensidad y  $S_1$ ,  $S_2$  y  $S_3$  especifican la polarización.

Cumplen la relación:

$$S_0^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

## Parámetros de Stokes

- $S_1$  refleja la tendencia a una polarización lineal horizontal, si  $S_1 > 0$ , o vertical si  $S_1 < 0$ ; si  $S_1 = 0$  no hay preferencia por ninguna.
- $S_2$  representa la tendencia a una polarización lineal a  $+45^\circ$ , si  $S_2 > 0$ , a  $-45^\circ$  si  $S_2 < 0$ , o a ninguna de las dos si  $S_2 = 0$ .
- El signo de  $S_3$  indica si el giro es dextrógiro,  $S_3 > 0$ , o levógiro,  $S_3 < 0$ .

Cartagena99

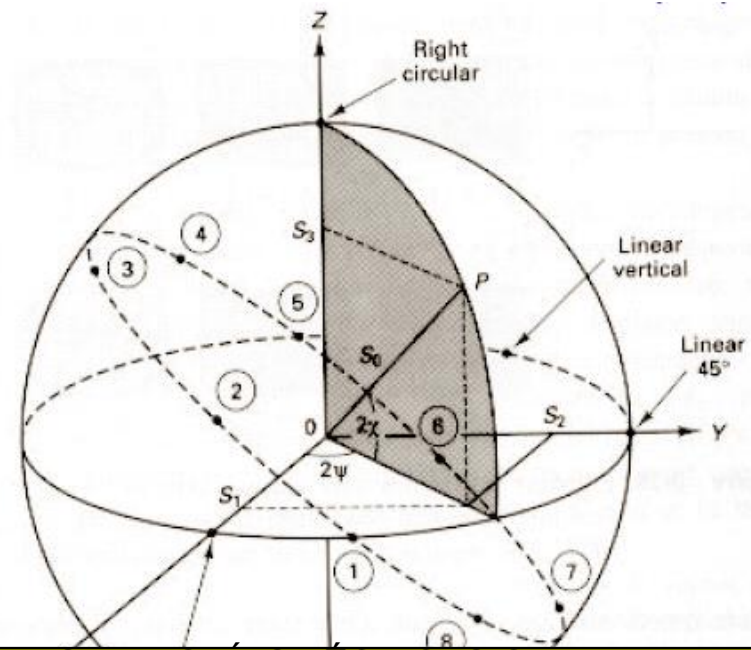
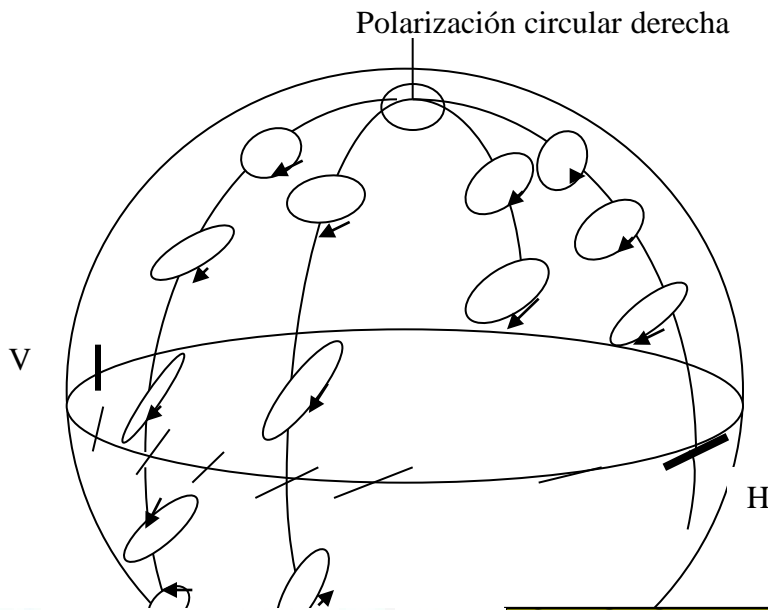
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 1. Ondas electromagnéticas en el vacío

Esfera de Poicaré: representación de los estados de polarización. Es una esfera de radio  $S_0$ .



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70