



Agriculture and
Agri-Food Canada

Agriculture et
Agroalimentaire Canada



Environment and
Climate Change Canada

Environnement et
Changement climatique Canada



El Mapeo de Cultivos y Sus Características Biofísicas con Radar de Apertura Sintética Polarimétrico y Teledetección Óptica

1ª Parte: Polarimetría SAR para la Agricultura (Teoría y Práctica)

12 de abril de 2022

El Programa de Capacitación de Teledetección Aplicada de la NASA (ARSET)

<https://appliedsciences.nasa.gov/what-we-do/capacity-building/arset>

- Parte del Programa de Fomento de Capacidades Científicas Aplicadas de la NASA
- Empoderando a la comunidad mundial a través de capacitaciones en línea y presenciales
- Temas para capacitaciones incluyen:
 - Recursos Hídricos
 - Calidad del Aire
 - Desastres
 - Tierras
 - **Clima y Energía (nuevo)**



El Programa de Capacitación de Teledetección Aplicada de la NASA (ARSET)

<https://appliedsciences.nasa.gov/what-we-do/capacity-building/arset>

- ARSET procura fomentar el uso de datos de teledetección y de modelos de las ciencias de la Tierra en la toma de decisiones a través de capacitaciones para:
 - Profesionales en los sectores público y privado
 - Gestores ambientales
 - Formuladores de políticas

Todos los materiales de ARSET están disponibles sin costo para su uso y adaptación en su currículum. Si utiliza los métodos y datos presentados en alguna capacitación de ARSET, por favor incluya un reconocimiento al Programa de Capacitación de Teledetección Aplicada de la NASA (ARSET).



Formato del Curso

- Cuatro sesiones de dos horas y media incluyendo presentaciones y tiempo para preguntas y respuestas
- Se presentará el mismo contenido en dos diferentes horarios cada día.
- La sesión A se presentará en **inglés**.
- La sesión B se presentará en **español**.
 - Sesión A: 10h-12h30 Horario Este de EE.UU. (UTC-4)
 - Sesión B: 13h-15h30 Horario Este de EE.UU. (UTC-4)
- El material de la capacitación junto con las grabaciones estará disponible en la siguiente página:

<https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/spanish/arset-mapeo-de-cultivos-y-sus-caracteristicas-biofisicas-con-sar>



Tarea y Certificados

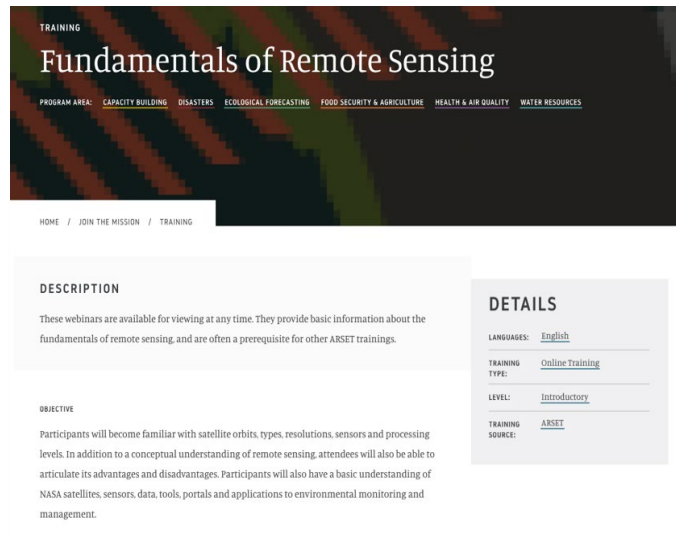
- Tarea:
 - Debe enviar sus respuestas a través de Formularios de Google
 - Fecha límite: 17 de mayo de 2022
- Se otorgará un certificado de finalización de curso a quienes:
 - Asistan a todas las presentaciones en vivo
 - Completen la tarea asignada dentro del plazo estipulado (acceso desde la página web)
 - Recibirán sus certificados aproximadamente dos meses después de la conclusión del curso de: marines.martins@ssaihq.com



Prerrequisitos

Fundamentos de la Percepción Remota (Teledetección):

https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2020-11/Fundamentals_Session1_Spanish.pdf



TRAINING

Fundamentals of Remote Sensing

PROGRAM AREA: CAPACITY BUILDING DISASTERS ECOLOGICAL FORECASTING FOOD SECURITY & AGRICULTURE HEALTH & AIR QUALITY WATER RESOURCES

HOME / JOIN THE MISSION / TRAINING

DESCRIPTION

These webinars are available for viewing at any time. They provide basic information about the fundamentals of remote sensing, and are often a prerequisite for other ARSET trainings.

DETAILS

LANGUAGES: [English](#)

TRAINING TYPE: [Online Training](#)

LEVEL: [Introductory](#)

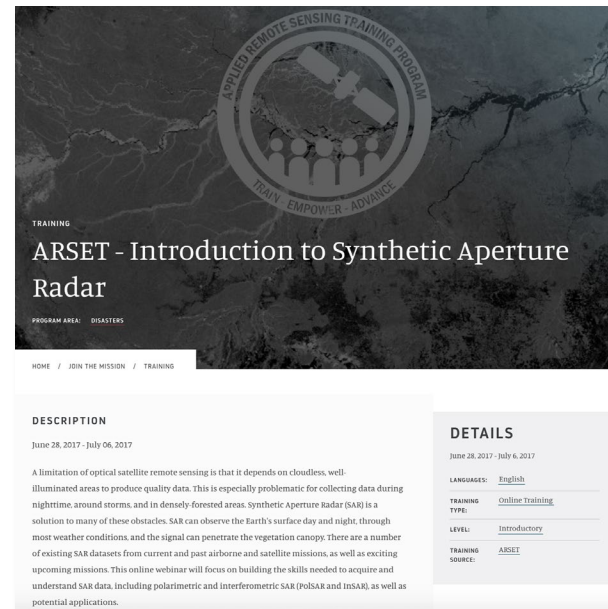
TRAINING SOURCE: [ARSET](#)

OBJECTIVE

Participants will become familiar with satellite orbits, types, resolutions, sensors and processing levels. In addition to a conceptual understanding of remote sensing, attendees will also be able to articulate its advantages and disadvantages. Participants will also have a basic understanding of NASA satellites, sensors, data, tools, portals and applications to environmental monitoring and management.

Introducción al Radar de Apertura Sintética:

<https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/spanish/arset-introduccion-al-radar-de-apertura-sintetica>



TRAINING

ARSET - Introduction to Synthetic Aperture Radar

PROGRAM AREA: DISASTERS

HOME / JOIN THE MISSION / TRAINING

DESCRIPTION

June 28, 2017 - July 06, 2017

A limitation of optical satellite remote sensing is that it depends on cloudless, well-illuminated areas to produce quality data. This is especially problematic for collecting data during nighttime, around storms, and in densely forested areas. Synthetic Aperture Radar (SAR) is a solution to many of these obstacles. SAR can observe the Earth's surface day and night, through most weather conditions, and the signal can penetrate the vegetation canopy. There are a number of existing SAR datasets from current and past airborne and satellite missions, as well as exciting upcoming missions. This online webinar will focus on building the skills needed to acquire and understand SAR data, including polarimetric and interferometric SAR (PolSAR and InSAR), as well as potential applications.

DETAILS

June 28, 2017 - July 6, 2017

LANGUAGES: [English](#)

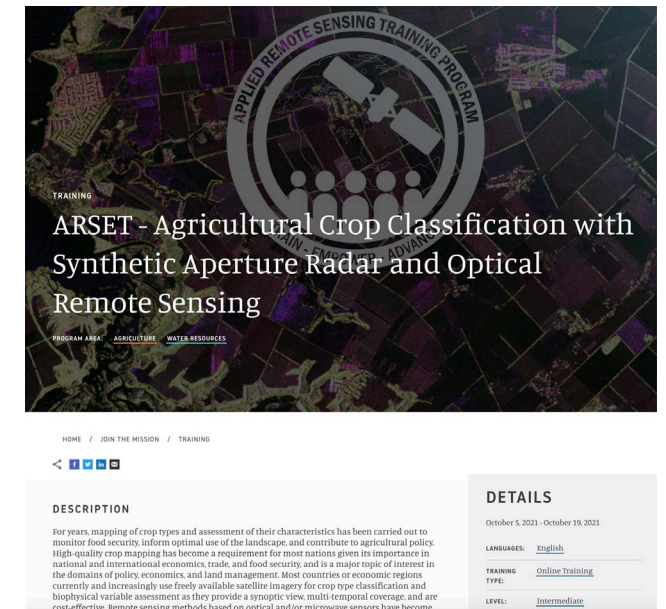
TRAINING TYPE: [Online Training](#)

LEVEL: [Introductory](#)

TRAINING SOURCE: [ARSET](#)

Clasificación de Cultivos Agrícolas con Radar de Apertura Sintética y Teledetección Óptica

<https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/spanish/arset-clasificacion-de-cultivos-agricolas-con-radar-de-apertura>



TRAINING

ARSET - Agricultural Crop Classification with Synthetic Aperture Radar and Optical Remote Sensing

PROGRAM AREA: AGRICULTURE WATER RESOURCES

HOME / JOIN THE MISSION / TRAINING

DESCRIPTION

For years, mapping of crop types and assessment of their characteristics has been carried out to monitor food security, inform optimal use of the landscape, and contribute to agricultural policy. High-quality crop mapping has become a requirement for most nations given its importance in national and international economics, trade, and food security, and is a major topic of interest in the domains of policy, economics, and land management. Most countries or economic regions currently and increasingly use freely available satellite imagery for crop type classification and biophysical variable assessment as they provide a synoptic view, multi-temporal coverage, and are cost-effective. Remote sensing methods based on optical and/or microwave sensors have become

DETAILS

October 5, 2021 - October 19, 2021

LANGUAGES: [English](#)

TRAINING TYPE: [Online Training](#)

LEVEL: [Intermediate](#)



Esquema de la Capacitación

12 de abril de 2022

**Polarimetría SAR para la
Agricultura (Teoría y
Práctica)**

19 de abril de 2022

Práctica de Polarimetría,
2^{da} Parte: Polarimetría SAR
para la Agricultura con
Imágenes de Sentinel-1,
RCM y SAOCOM

26 de abril de 2022

Caja de Herramientas
(Toolkit) de Fuente Abierta
Sen4Stat (Teoría y Práctica)

3 de mayo de 2022

Análisis de Series de Tiempo
de Cultivos Específicos para
el Análisis del Crecimiento

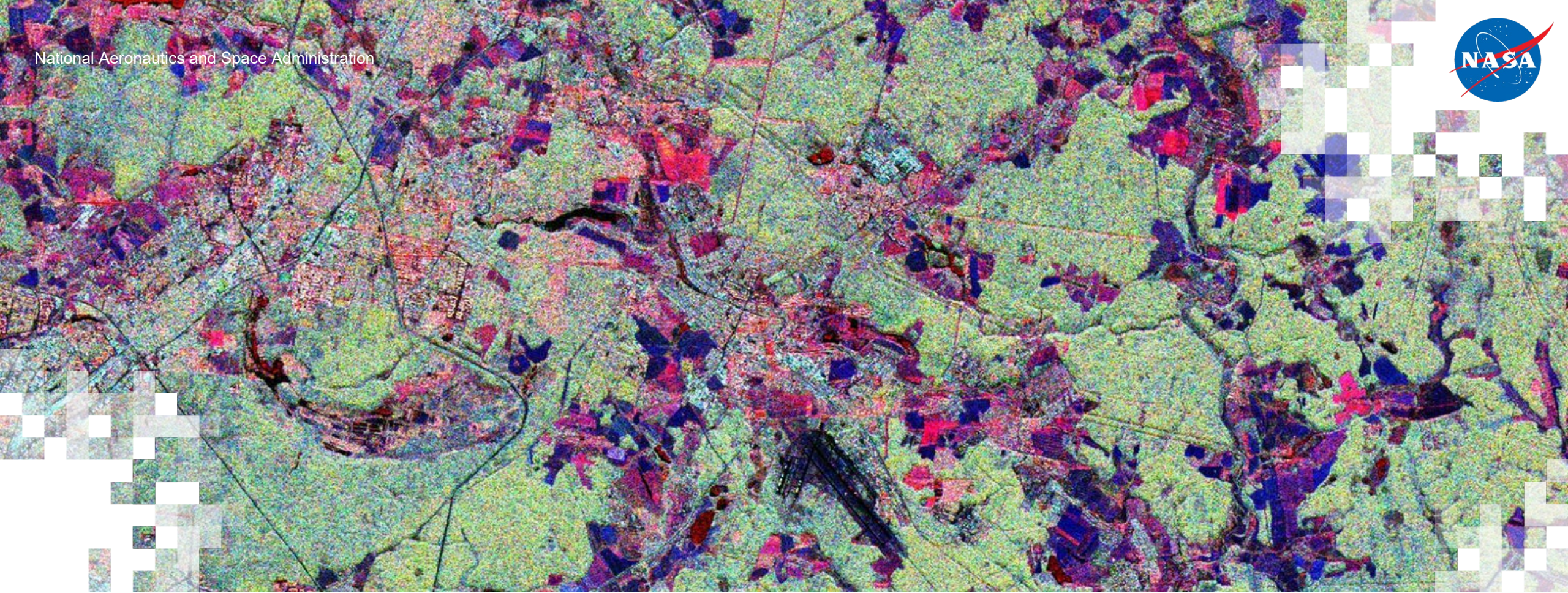


Objetivos de Capacitación

Al final de esta capacitación, quienes asistieron podrán:

- Explicar la teoría detrás de la Polarimetría SAR, especialmente con relación a las características de los cultivos
- Generar parámetros polarimétricos usando imágenes/software de fuente abierta y realizar un análisis de series de tiempo del crecimiento de los cultivos
- Identificar cómo Sen4Stat puede apoyar a las Oficinas Nacionales de Estadísticas en su utilización de observaciones de la Tierra para estadísticas agrícolas
- Realizar un análisis de series de tiempo de tipos de cultivos usando el índice LAI derivado de Sentinel-2





Teoría de la Polarimetría SAR

Objetivos de Aprendizaje

Al final de esta sesión, los participantes estarán familiarizados con lo siguiente:

- La radiación electromagnética
- Las características de los sistemas de SAR
- Interferencia y “speckle”
- Modos de Generación de imágenes SAR comunes
- La polarimetría

Material de prerequisite

<https://youtu.be/Xemo2ZpduHA?t=54>

(0:54 – 51:04)

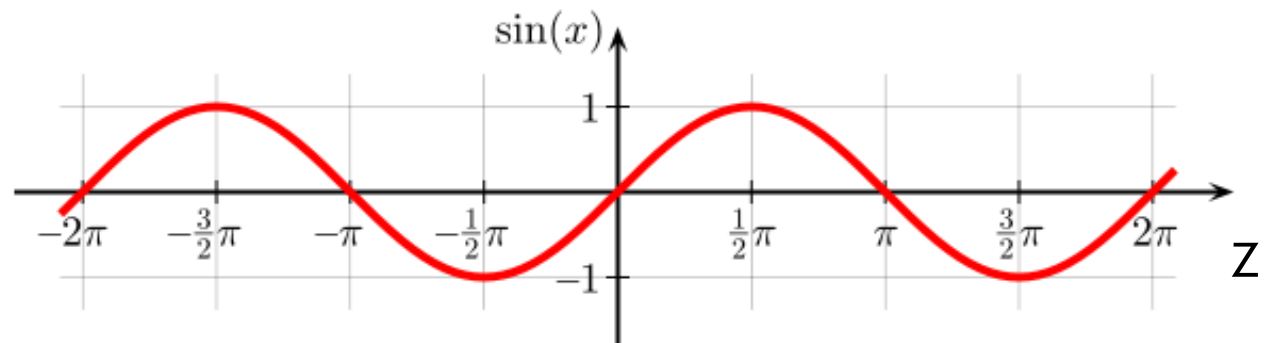
<https://youtu.be/2SGP30TGHXM?t=365>

(6:05 – 1:43:43)



Radiación Electromagnética

- Hay diferentes formas de describir las ondas matemáticamente
- Para la simplicidad, el perfil de una onda se puede basar en una curva sinusoidal (o cosinusoide)
 - Es una función matemática, una curva matemática
 - Son útiles para la modelación de fenómenos periódicos
- Es conveniente representar esto en un sistema de coordenadas x, y, z (cartesiano derecho)
 - Eje Z = dirección de desplazamiento

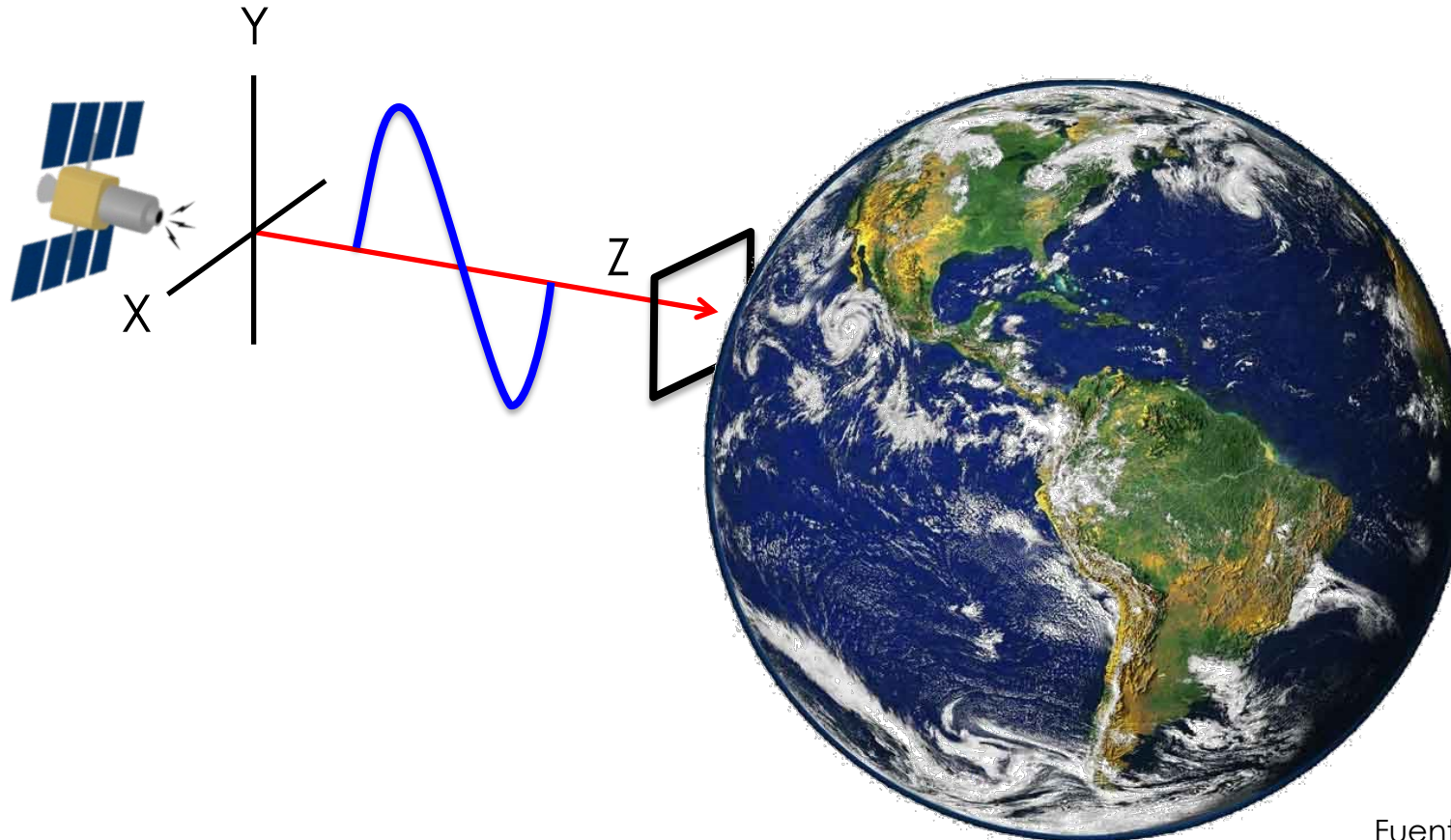


Fuente: [Geek3; Wikimedia Commons](#)

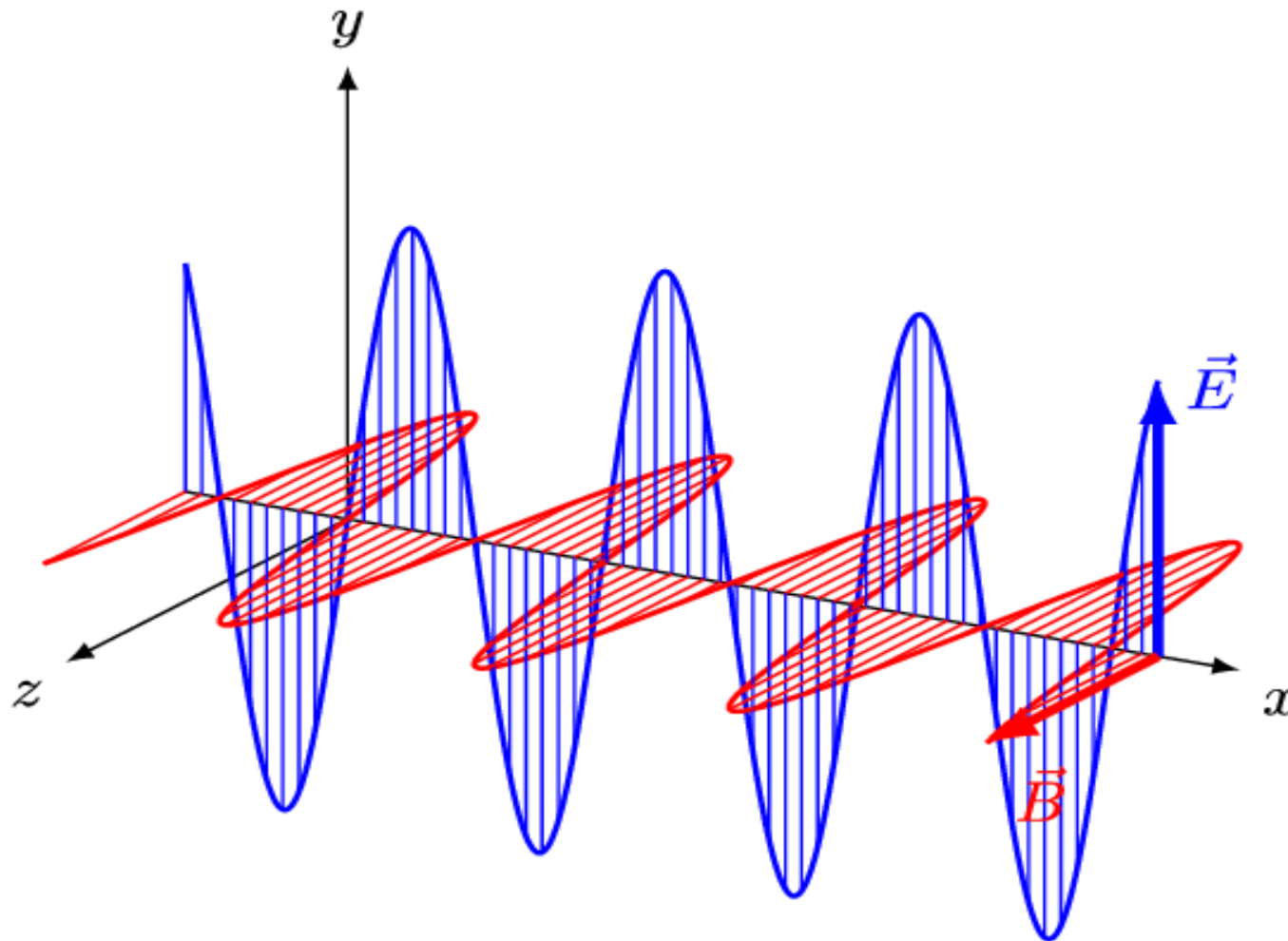


Radiación Electromagnética

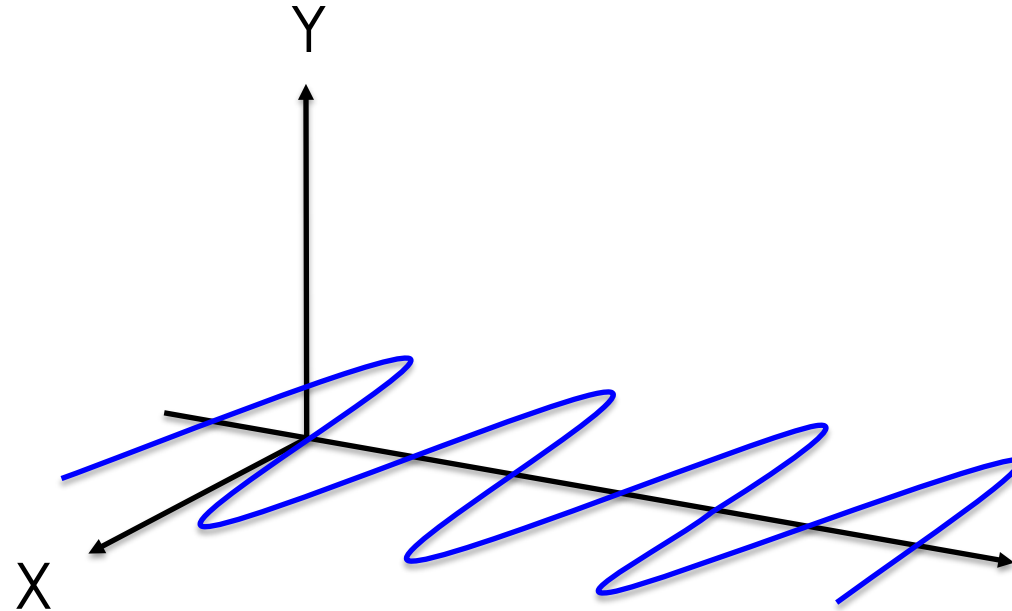
- El sensor define un plano X-Y
- Por convenio, el eje X es paralelo a la superficie de la Tierra:



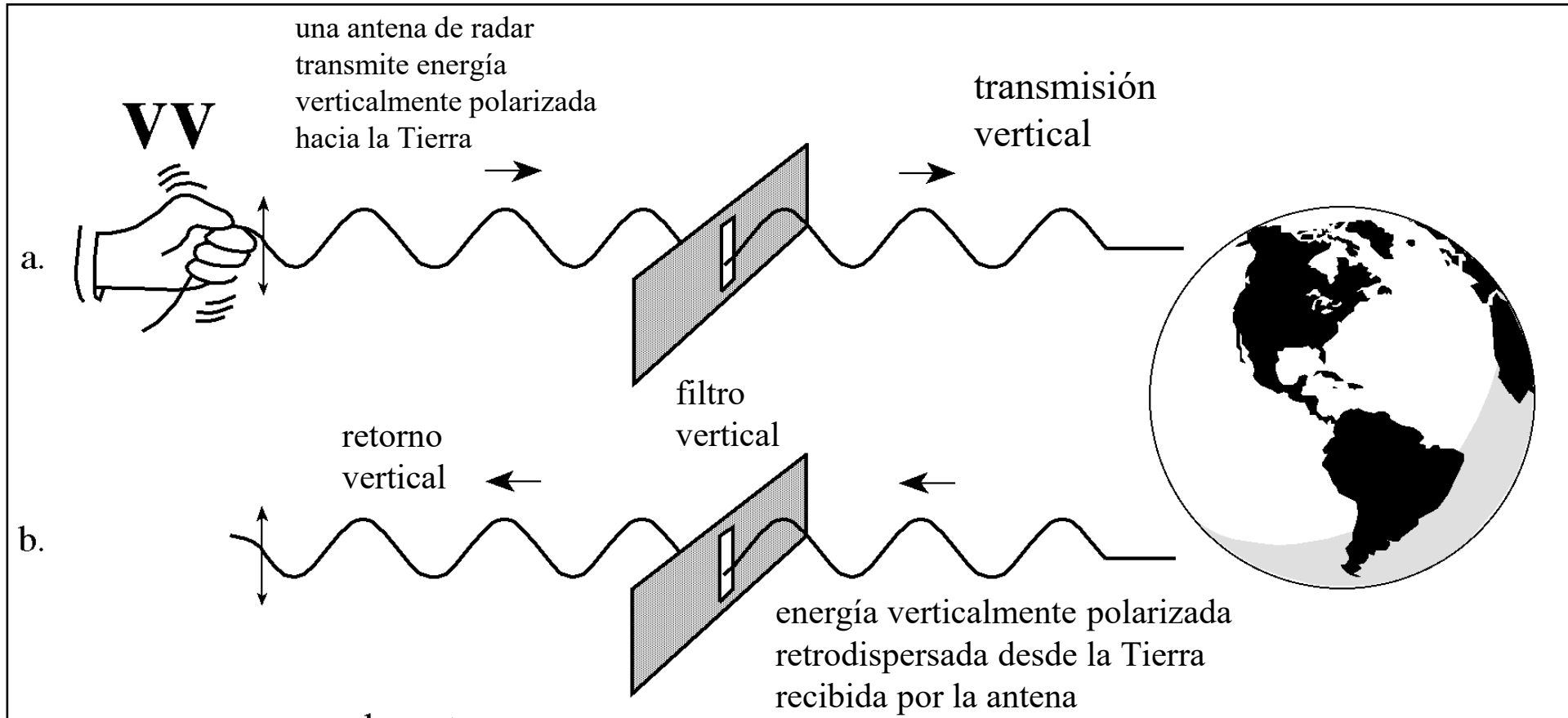
Características de los Sistemas – Polarización



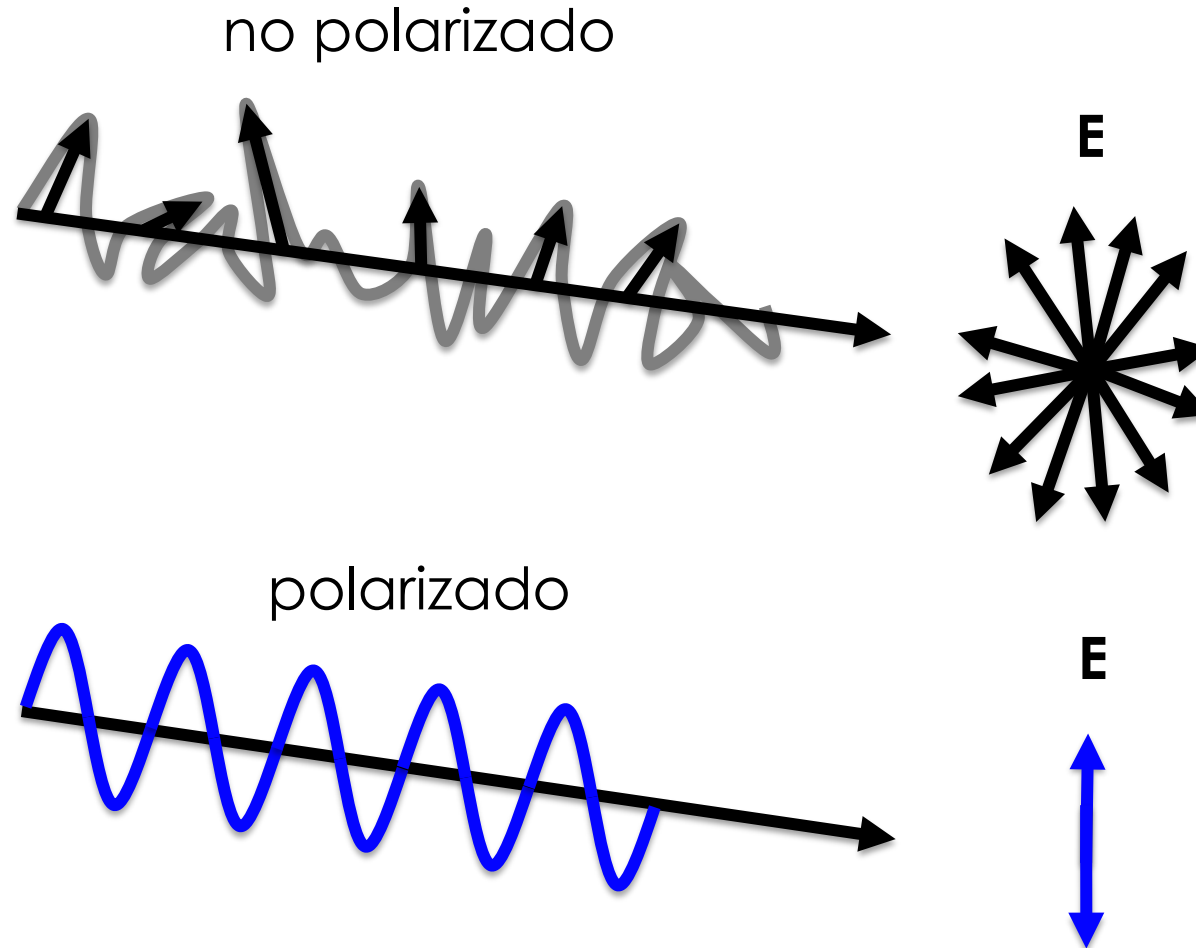
Características de los Sistemas – Polarización



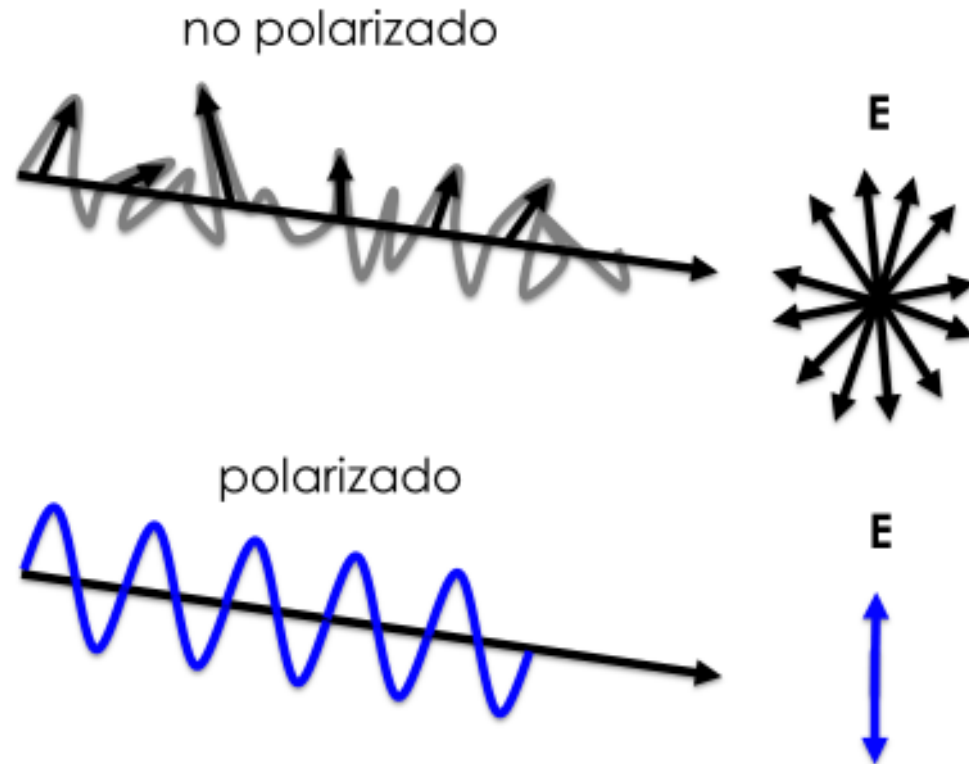
Características de los Sistemas – Polarización



Características de los Sistemas – Polarización



Características de los Sistemas – Polarización



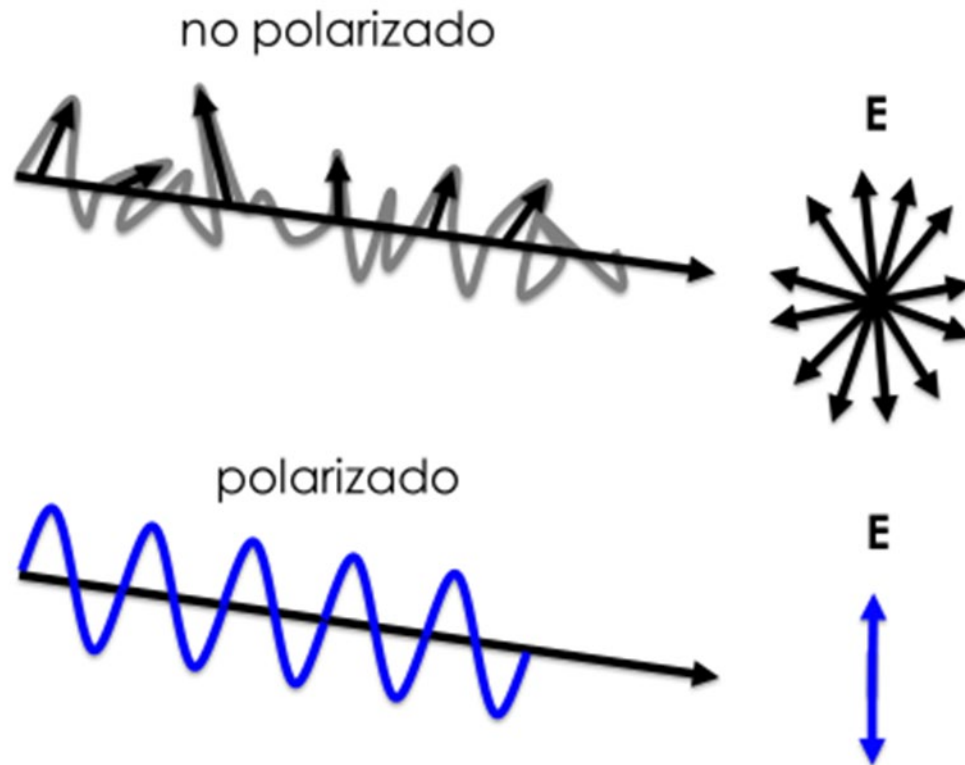
Completamente no polarizado – oscila de manera aleatoria

Completamente polarizado – oscila en el plano de polarización

Parcialmente polarizado – combinación



Características de los Sistemas – Polarización



Transmisión: siempre polarizada

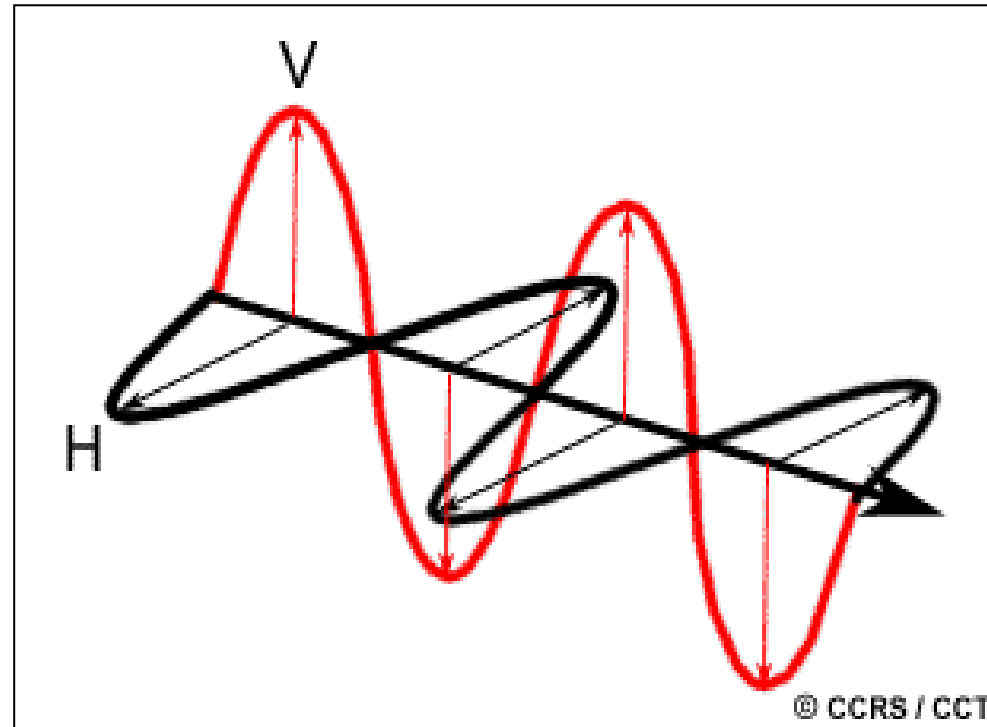
Retorno: parcial o completamente no polarizado

Grado de polarización =
potencia polarizada/
potencia total



Características de los Sistemas – Polarización

La mayoría de los radares transmiten y/o reciben: polarizado horizontalmente (H) o polarizado verticalmente (V)



Fuente: [Gobierno de Canadá](#)



Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- Vectores:

- Cantidades con:

- 1) Dirección

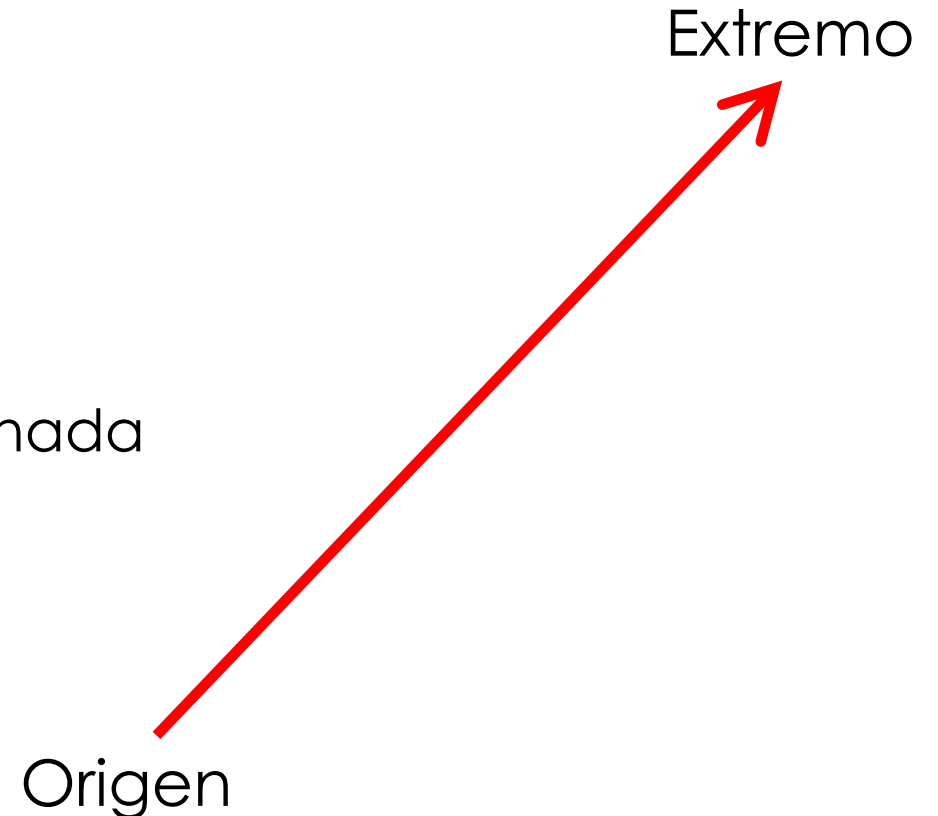
- 2) Magnitud (longitud)

- Se representan como flechas, una lista ordenada de números

- Se denotan usando **negrita** o \vec{a}

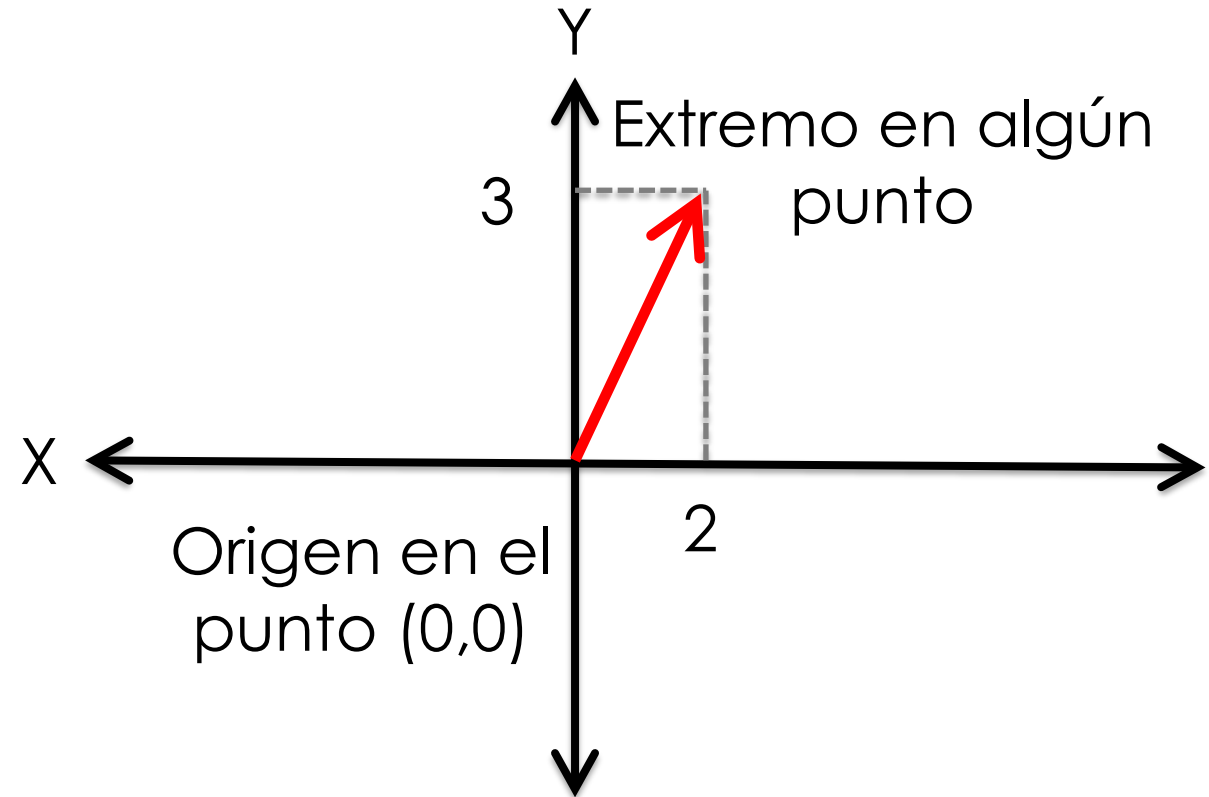
- Solo magnitud con $\|\mathbf{a}\|$

- P.ej. velocidad (ritmo de desplazamiento en una dirección determinada)



Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- Vectores:
 - Se pueden representar en un sistema de coordenadas cartesianas (x, y)
 - Nota: se usa la misma notación para un vector y un punto (un punto es un vector que parte del punto $(0,0)$ el cual se denomina origen)
 - En el álgebra lineal, el origen normalmente es el punto $(0,0)$



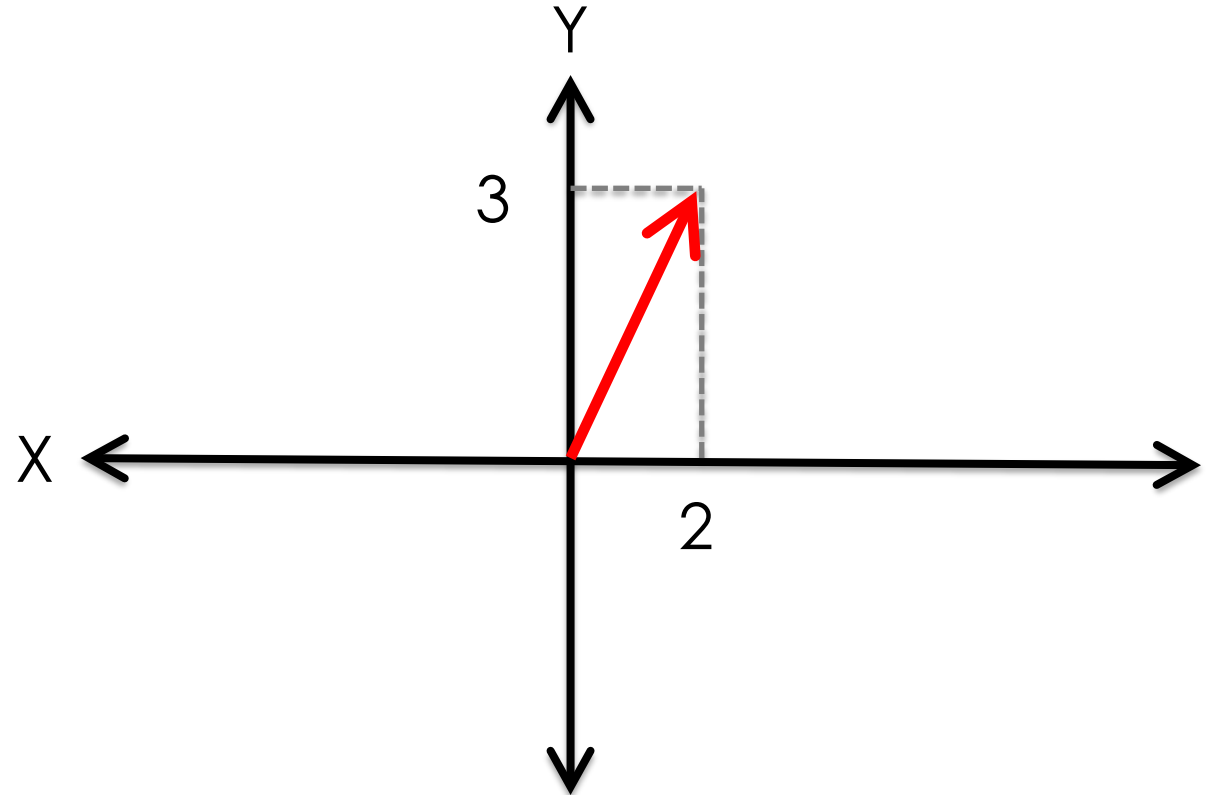
Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- Vectores:

- Las coordenadas de un vector son una **lista ordenada de números**:

$$\begin{bmatrix} 2 \\ 3 \end{bmatrix}$$

- Informan cómo llegar del origen hasta el extremo
- Convenio: se escriben verticalmente entre corchetes



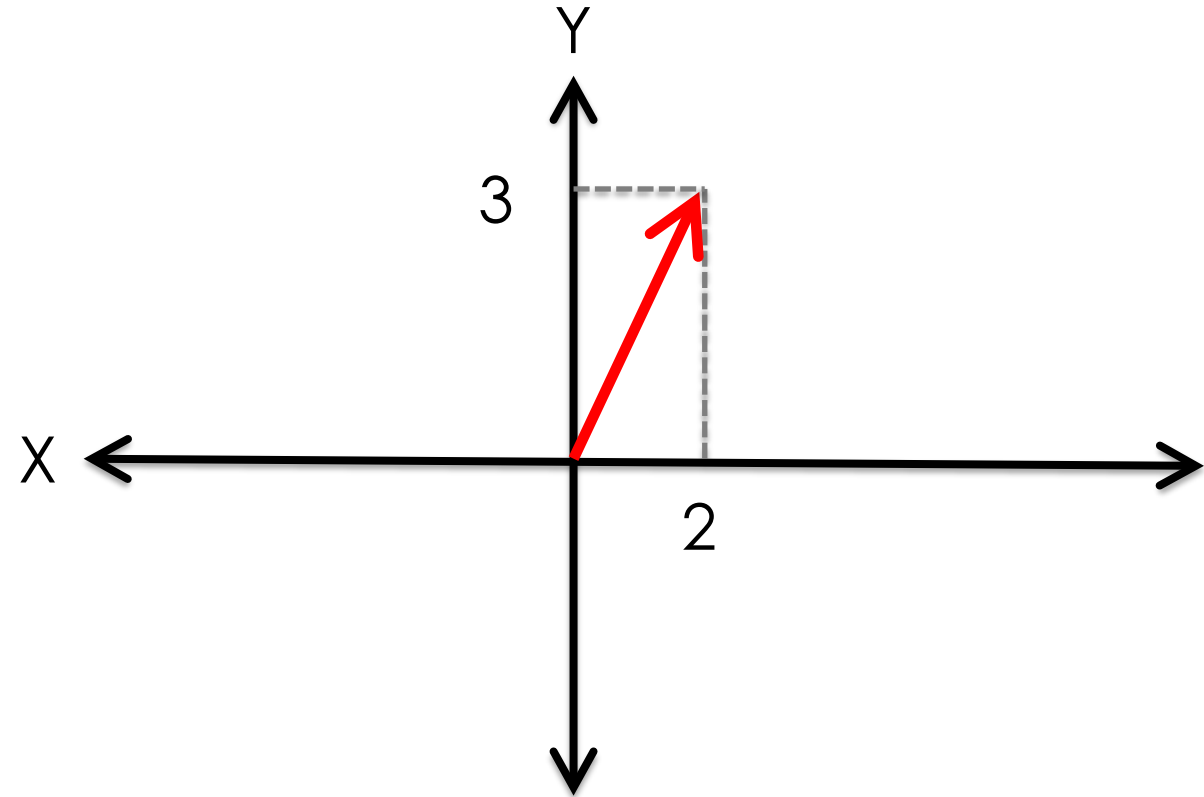
Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- Vectores:

- Las coordenadas son más fáciles de manipular que la dirección y la magnitud

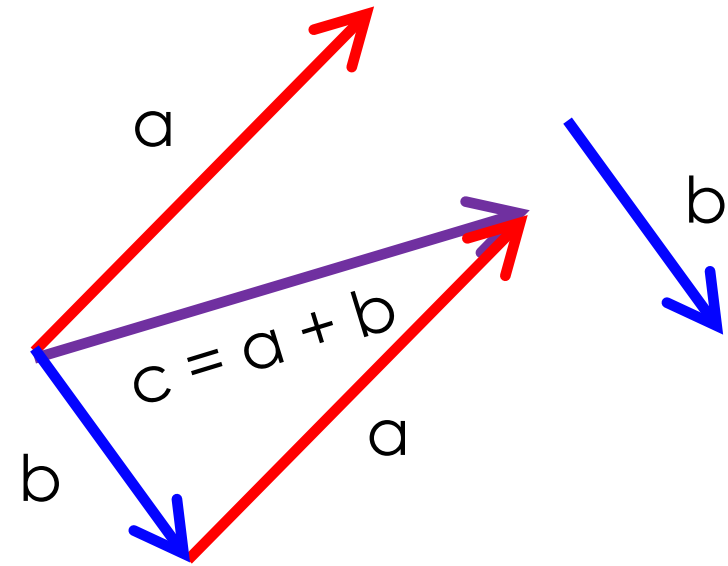
Magnitud = longitud de un vector

$$\|\mathbf{a}\| = \sqrt{2^2 + 3^2}$$



Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- Para sumar vectores:
 - Por ejemplo, $a + b$
 - Se traslada el origen de b al extremo de a
 - El nuevo vector ($c = a + b$) es el segmento de recta directo del origen de (a) hasta el extremo de (b)
 - El orden de sumar no importa
$$a + b = b + a$$

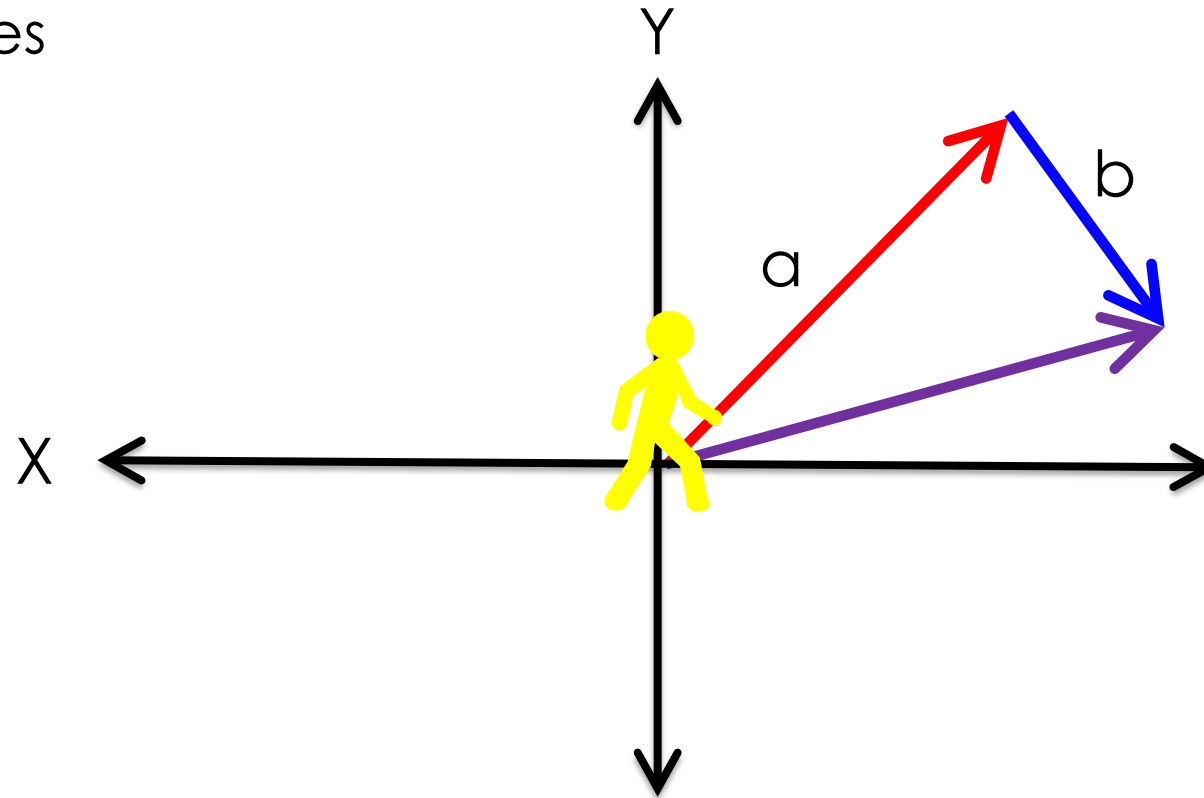


Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- Suma de Vectores:

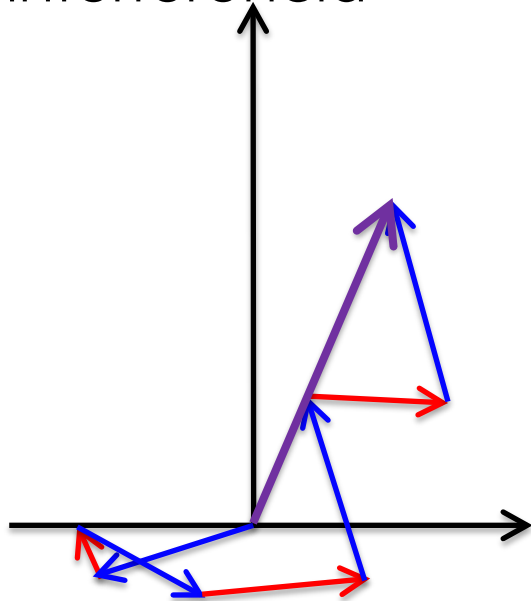
$$\begin{bmatrix} 5 \\ 5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2 \\ -2 \end{bmatrix}$$

- Lista de direcciones



Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- Suma de vectores:
 - Es útil para poder visualizar algo denominado interferencia



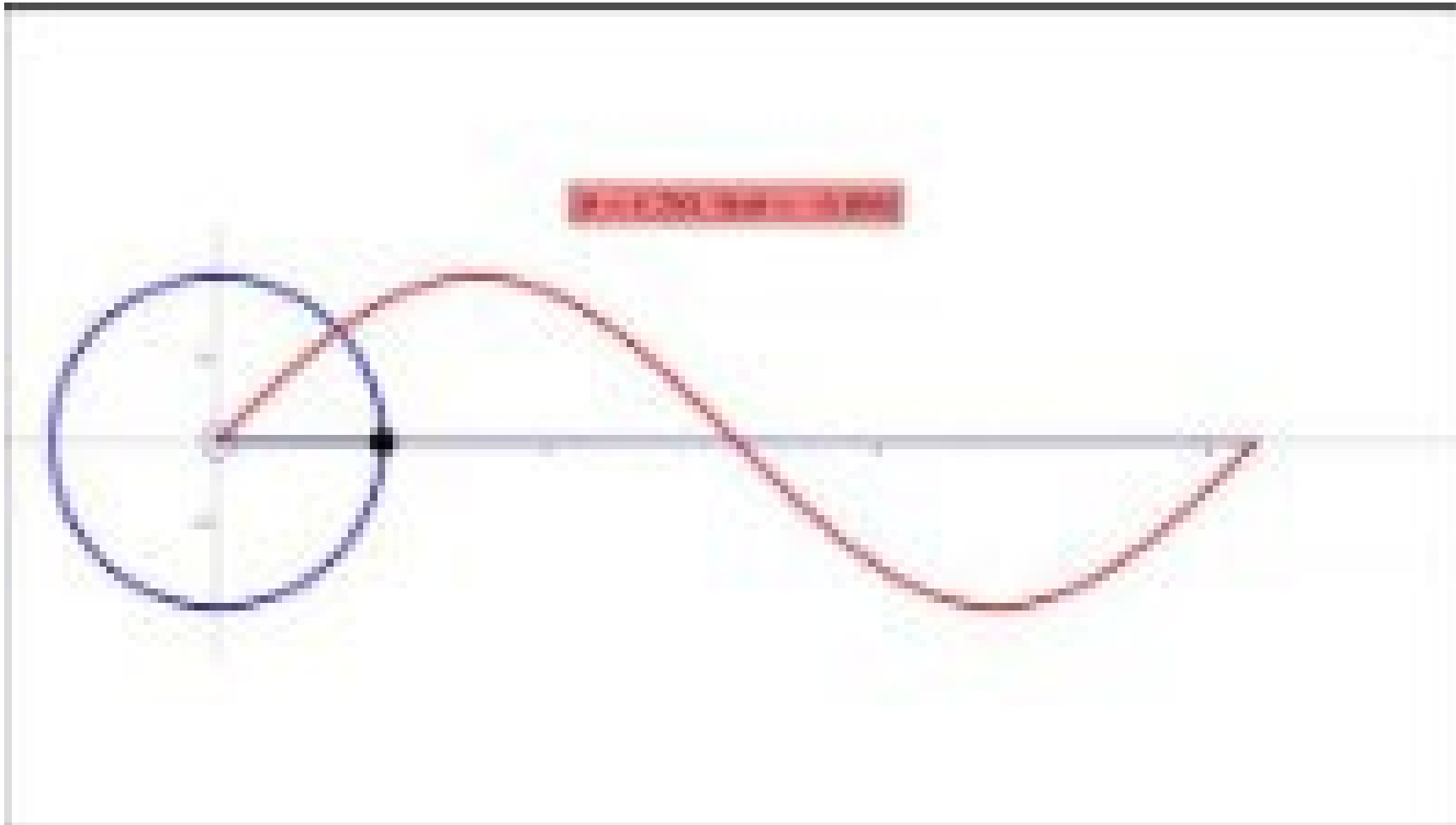
Las flechas representan diferentes ondas; ¡el producto es la suma de todas las amplitudes y fases!

*Más sobre esto
más adelante...*



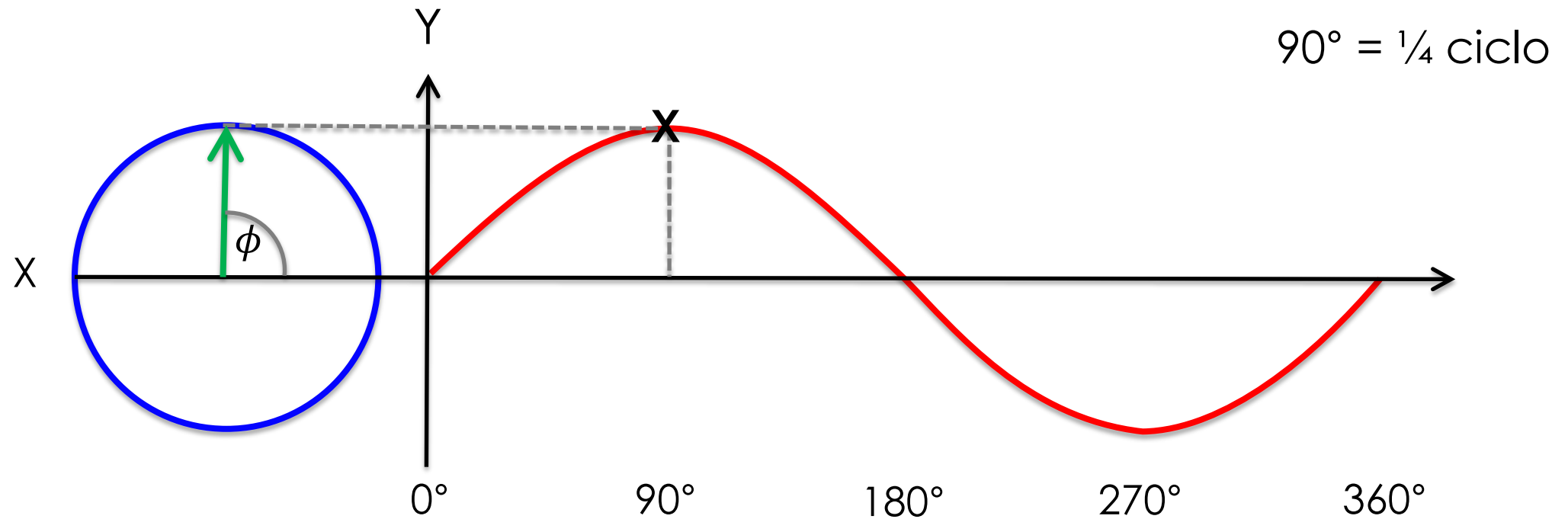
Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- Existe una relación interesante entre las ondas sinusoidales y los círculos



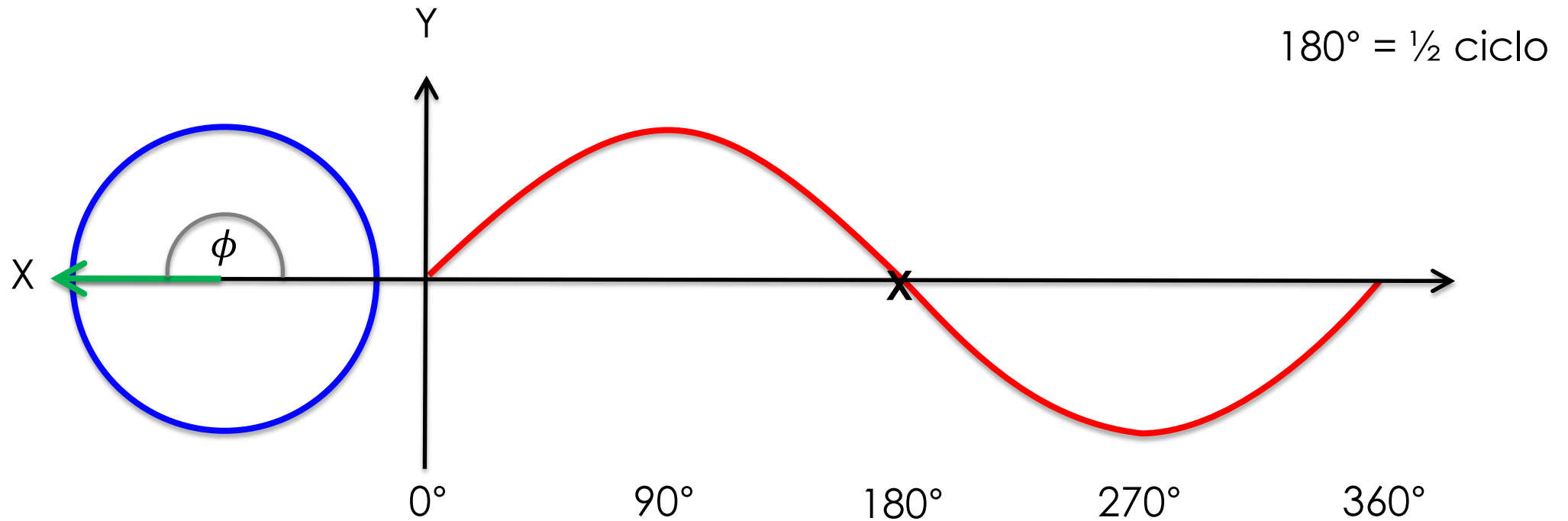
Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- **Fase:** la situación instantánea en un ciclo de onda; se mide en grados o radianes.



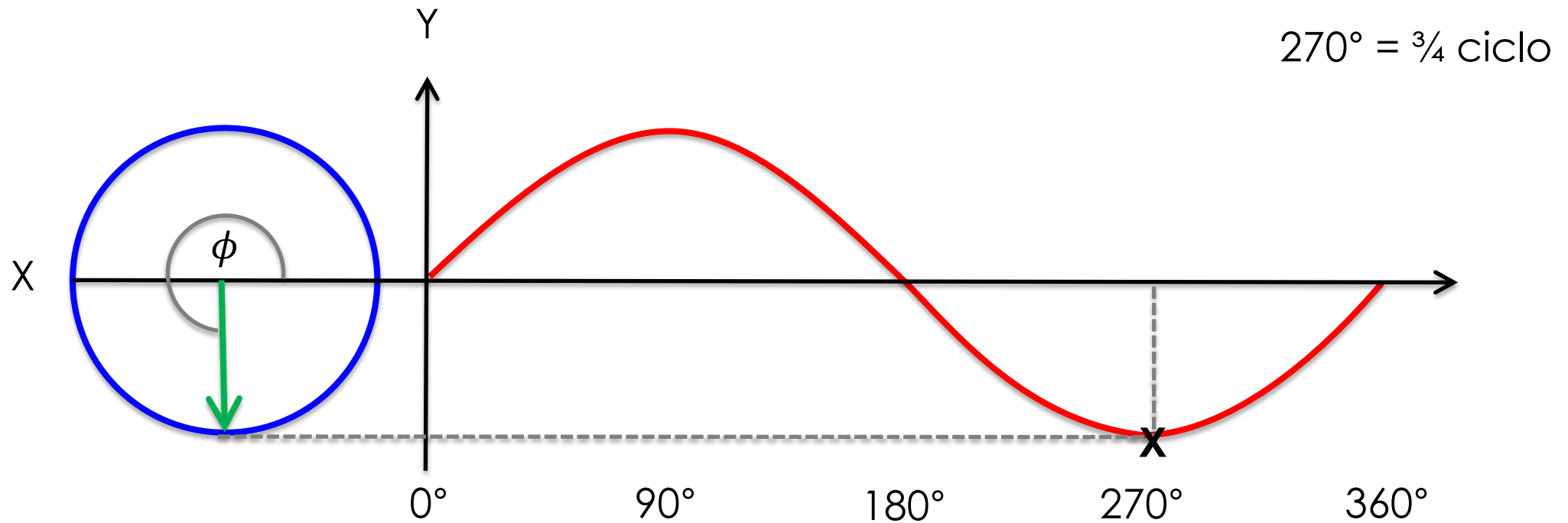
Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- **Fase:** la situación instantánea en un ciclo de onda; se mide en grados o radianes.



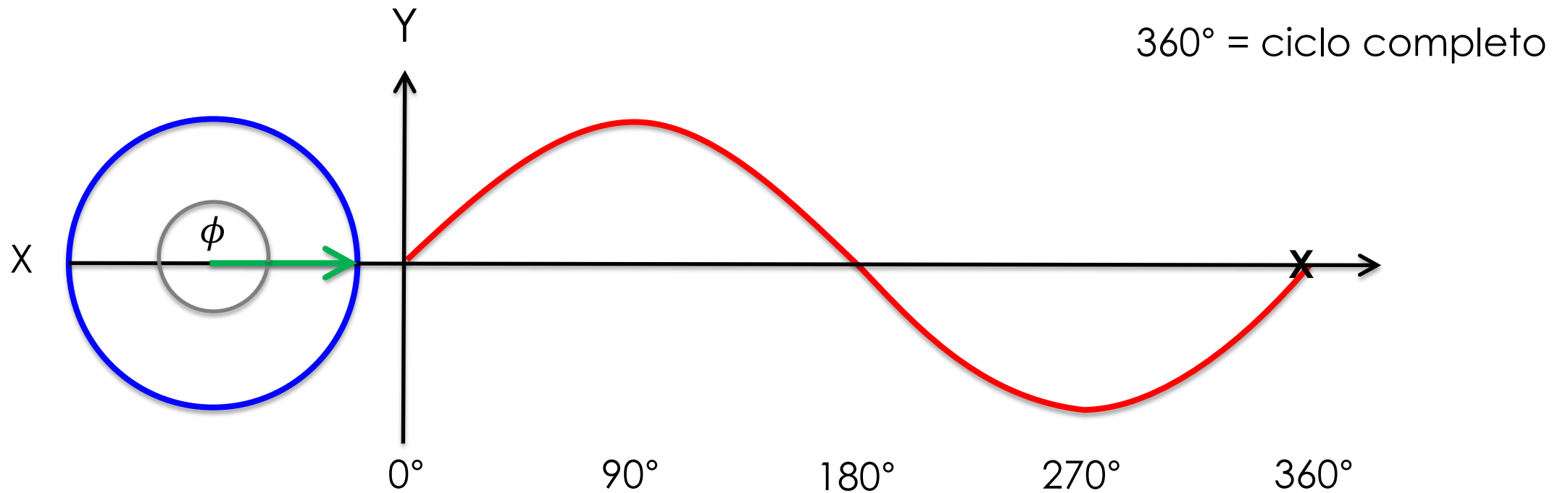
Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- **Fase:** la situación instantánea en un ciclo de onda; se mide en grados o radianes.



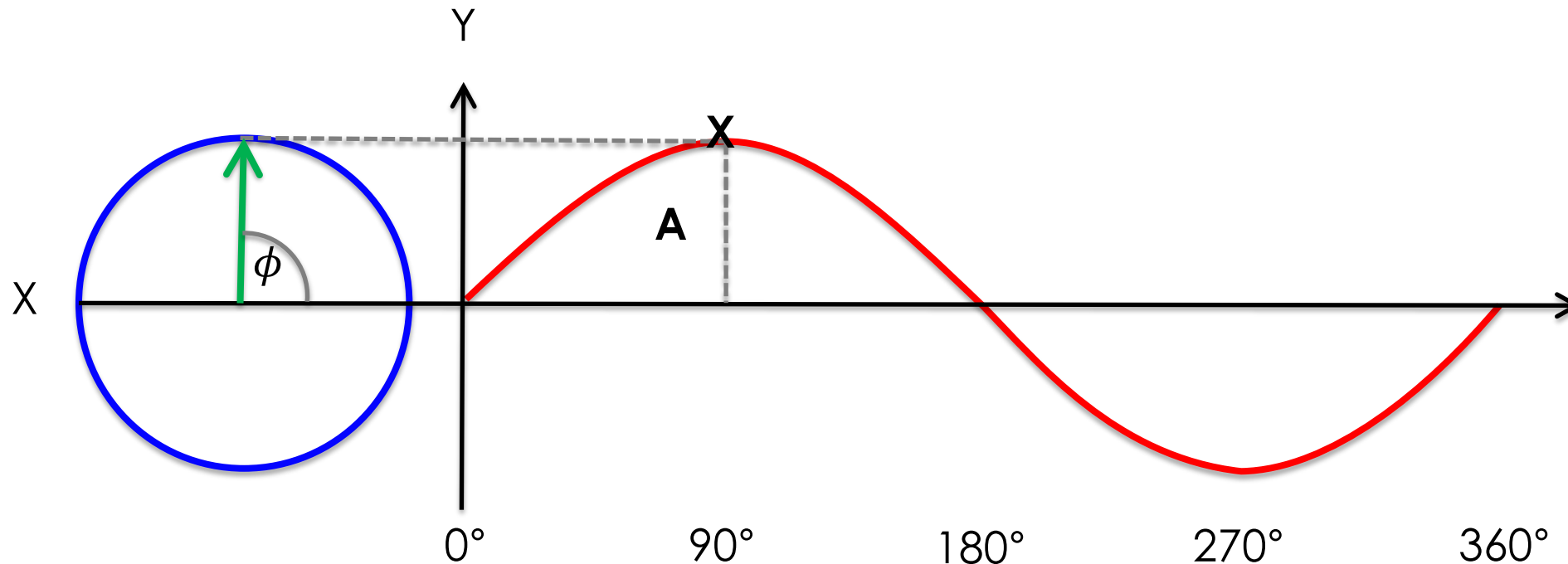
Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- **Fase:** la situación instantánea en un ciclo de onda; se mide en grados o radianes.



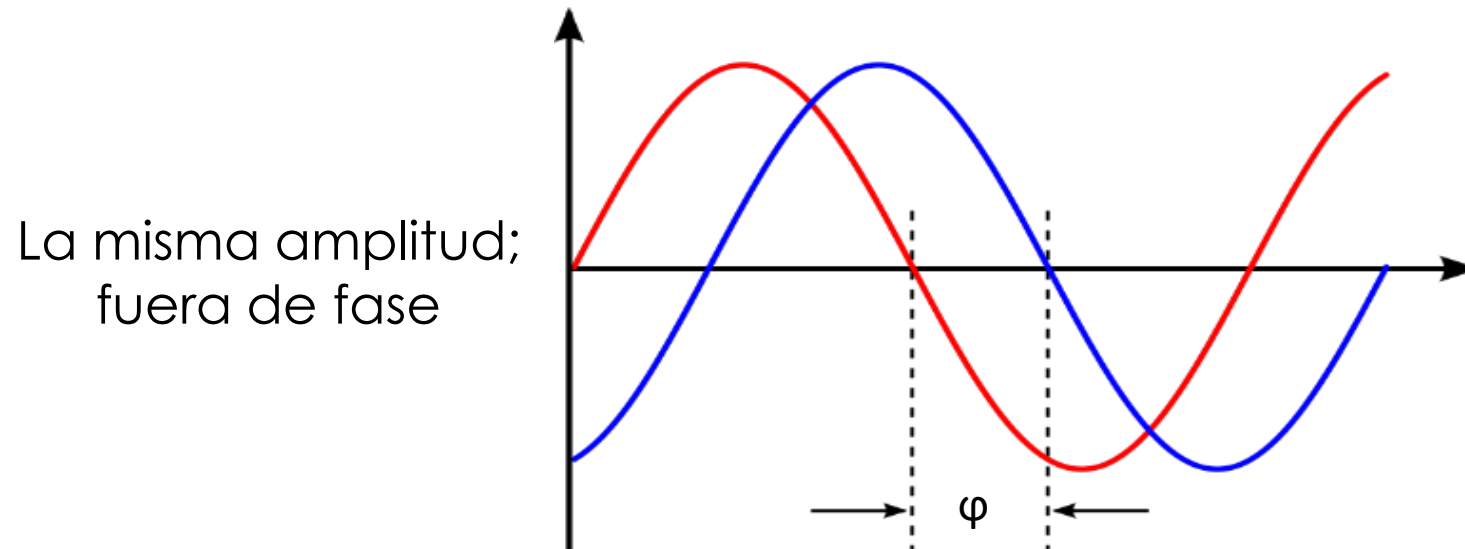
Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- La proyección del vector sobre el eje Y es la amplitud (A); en un punto determinado del ciclo de onda



Características de los Sistemas – Fase y Polarización

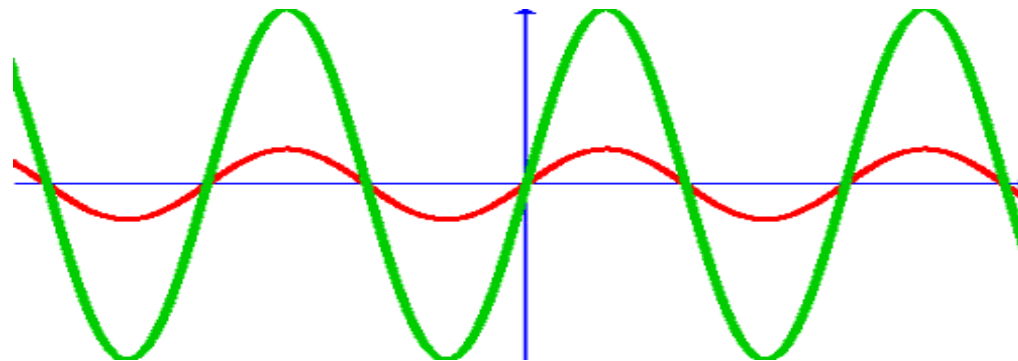
- **Fase inicial:** la situación en la que una onda comienza
- **Diferencia de fase (ϕ):** el desfase, en el tiempo o el espacio de una onda con respecto a otra; dos ondas están en fase si los orígenes de sus fases 0 grados están perfectamente alineados. Cuando esto no sucede, se dice que las ondas están fuera de fase.



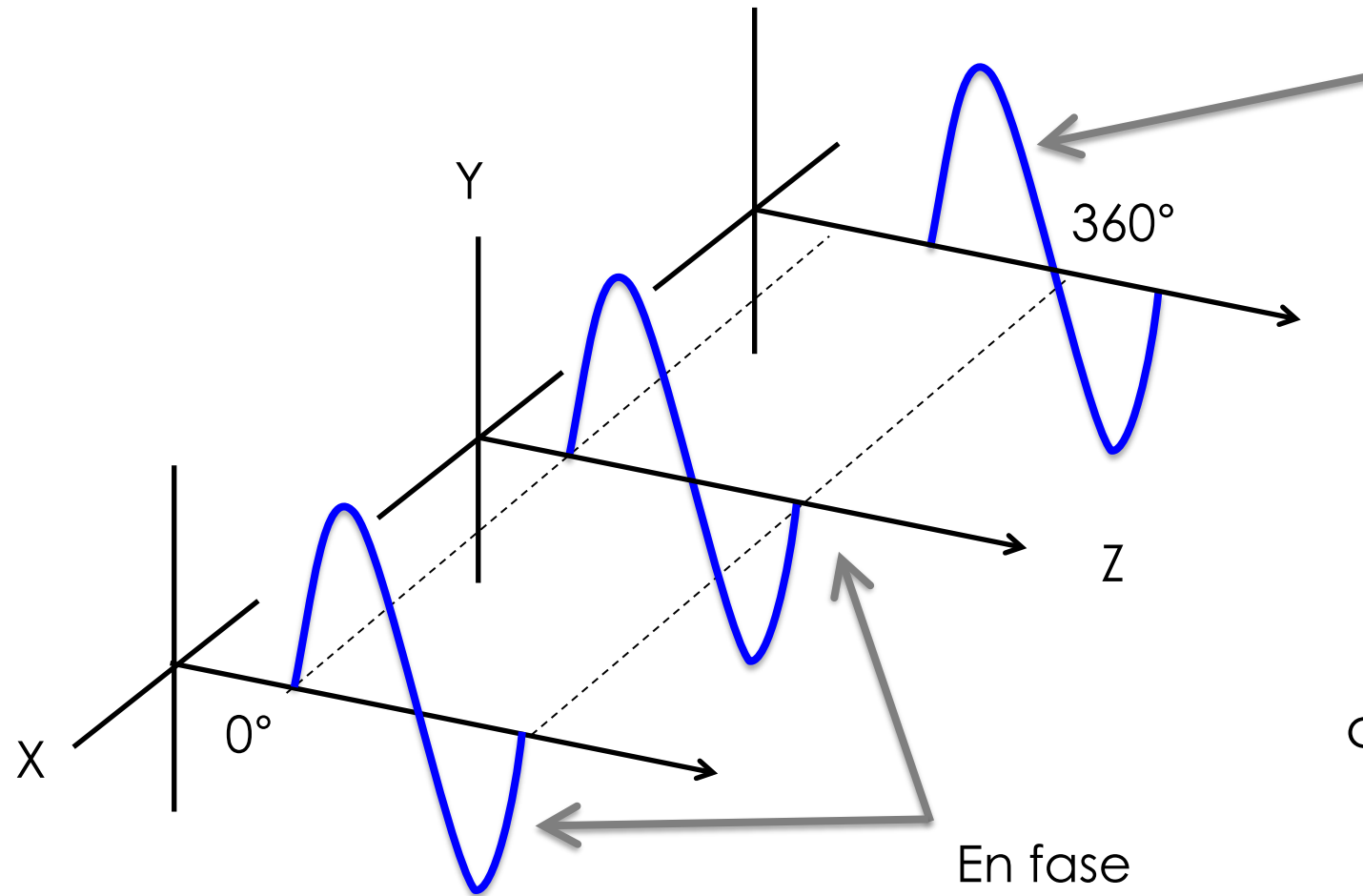
Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- **Fase inicial:** la situación en la que una onda comienza
- **Diferencia de fase (ϕ):** el desfase, en el tiempo o el espacio de una onda con respecto a otra; dos ondas están en fase si los orígenes de sus fases 0 grados están perfectamente alineados. Cuando esto no sucede, se dice que las ondas están fuera de fase.

Diferentes
amplitudes; en
fase



Características de los Sistemas – Fase y Polarización



¡desplazamiento de 180°!

360°

Z

0°

X

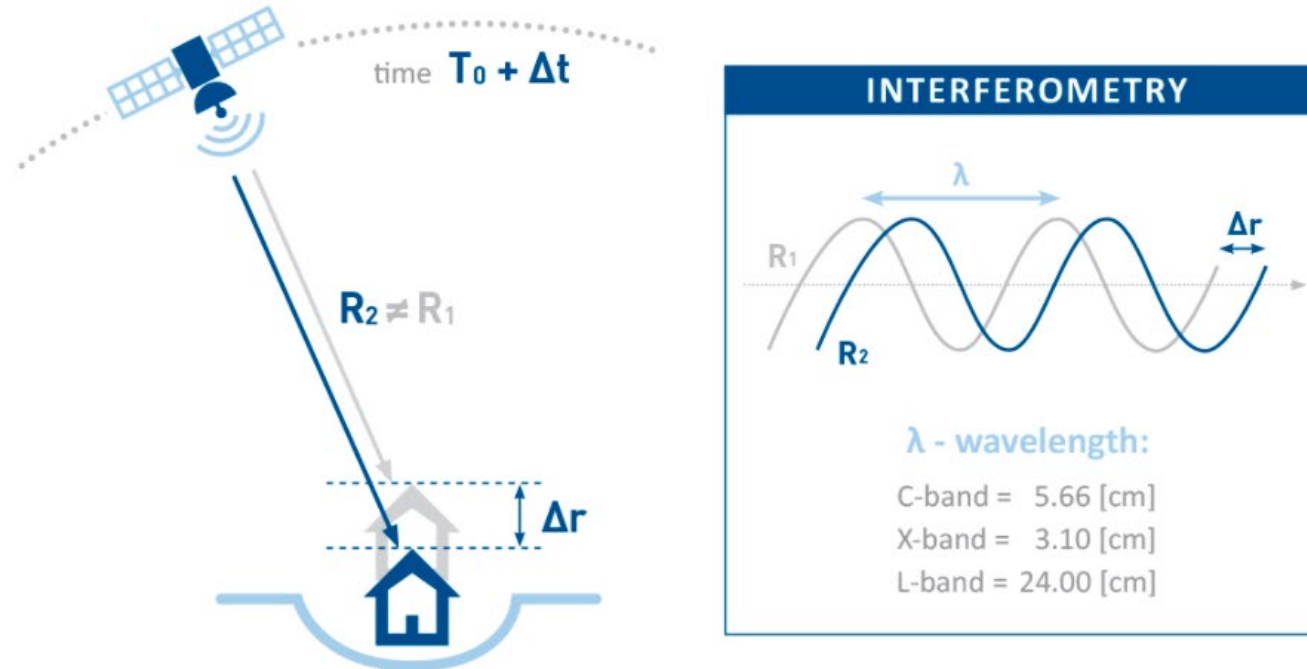
En fase

¡Dos ondas están en fase si comienzan en 0° y terminan en 360° al mismo tiempo!



Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- Es clave en el SAR tanto interferométrico como polarimétrico



- La diferencia de fase es afectada por la estructura del objetivo



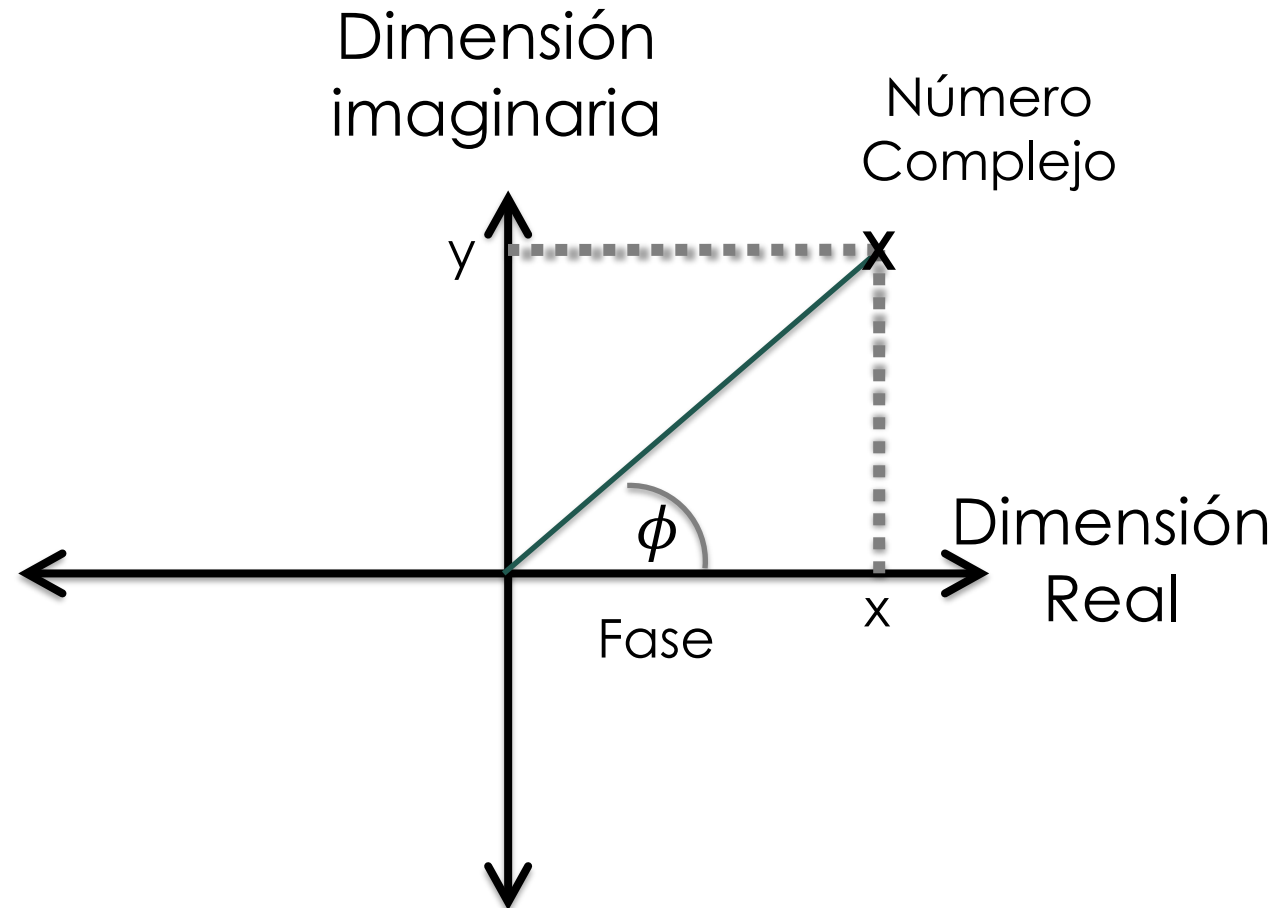
Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- La información sobre la fase puede ser muy útil; no siempre está disponible/calibrada
- Hay dos tipos de datos comunes que encontrará:
 - La información de la fase está disponible para productos **Single Look Complex* (SLC)**
 - P. ej. Radarsat-2 en modo fino ancho quad pol, datos brutos SLC Sentinel-1
 - La información de la fase se pierde con productos **Ground Range Detected** (GRD)**
 - P.ej. Productos Sentinel-1 GRD (GEE)



Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- ¿Cómo almacenamos información de intensidad y fase?
 - Descripción de una Onda Compleja



Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- Descripción de una Onda Compleja
 - Tiene partes “reales” e “imaginarias” que se expresan de la siguiente manera:

$$x + iy$$

- x e y son números reales, i es el número que al cuadrado = -1 ... ($i^2 = -1$)



Características de los Sistemas – Fase y Polarización

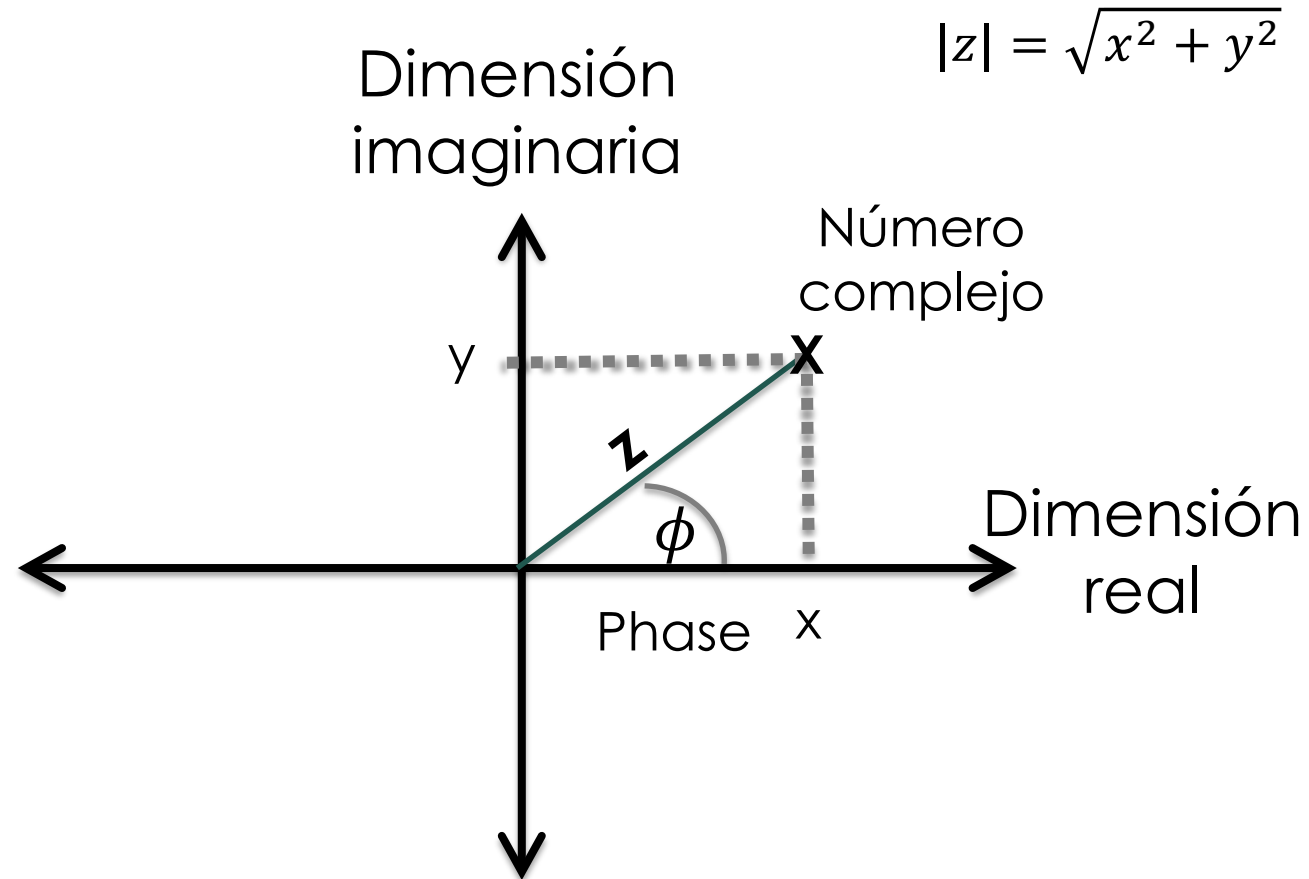
- Descripción de una onda compleja

Dato	Números Negativos (-x)	Números Complejos (a+bi)
Es extraño porque...	¿Cómo puede haber menos que nada?	¿Cómo se puede calcular la raíz cuadrada de un número negativo?
Significado intuitivo	“Contrario”	“Rotación”
Uso en las coordenadas	Ir hacia atrás desde el origen	Girar alrededor del origen



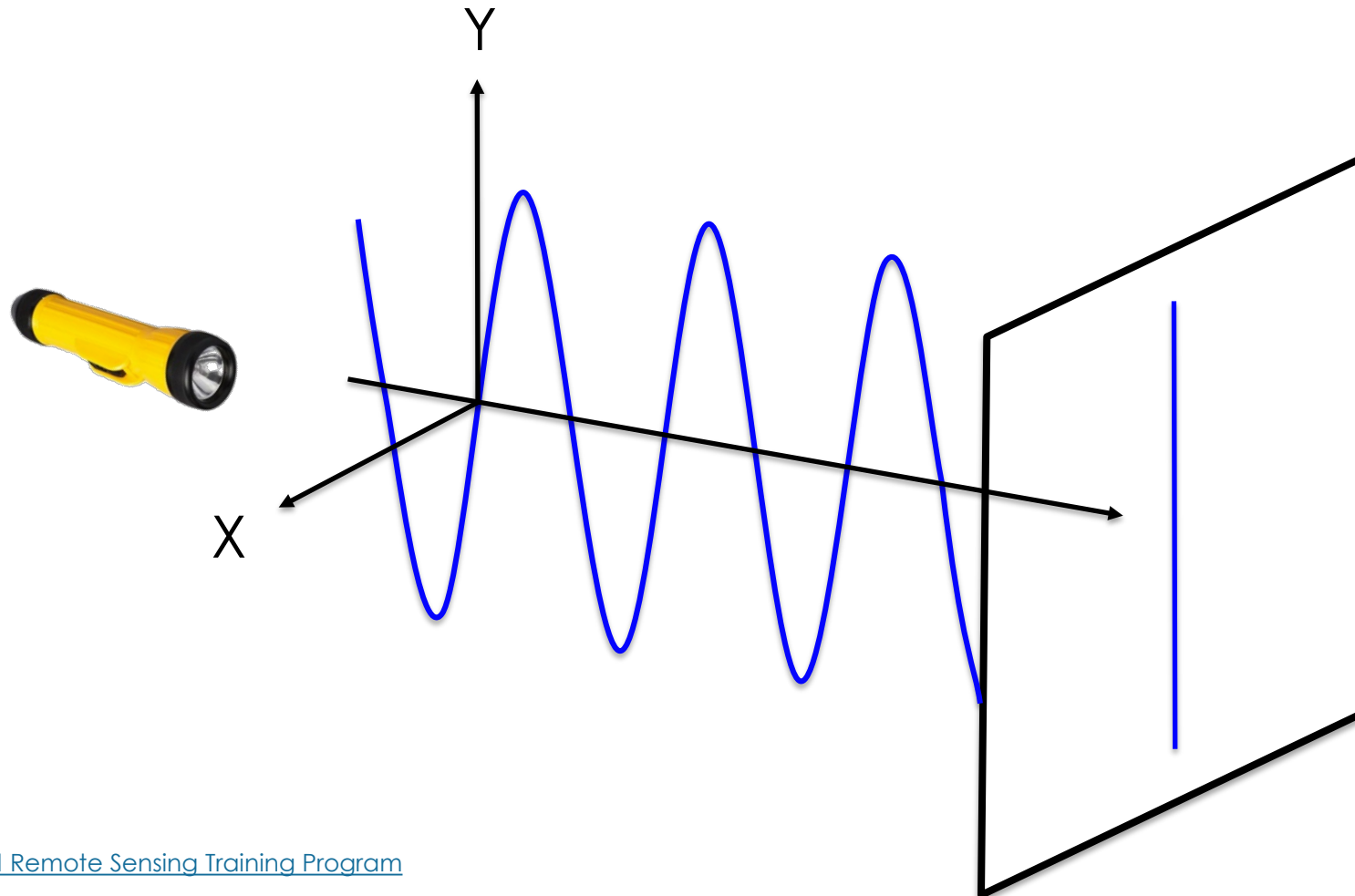
Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- Descripción de una Onda Compleja



Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- Describe la orientación y la forma trazada por el campo eléctrico de la onda.
- Considere una forma trazada por la punta de un vector giratorio, proyectada en un plano

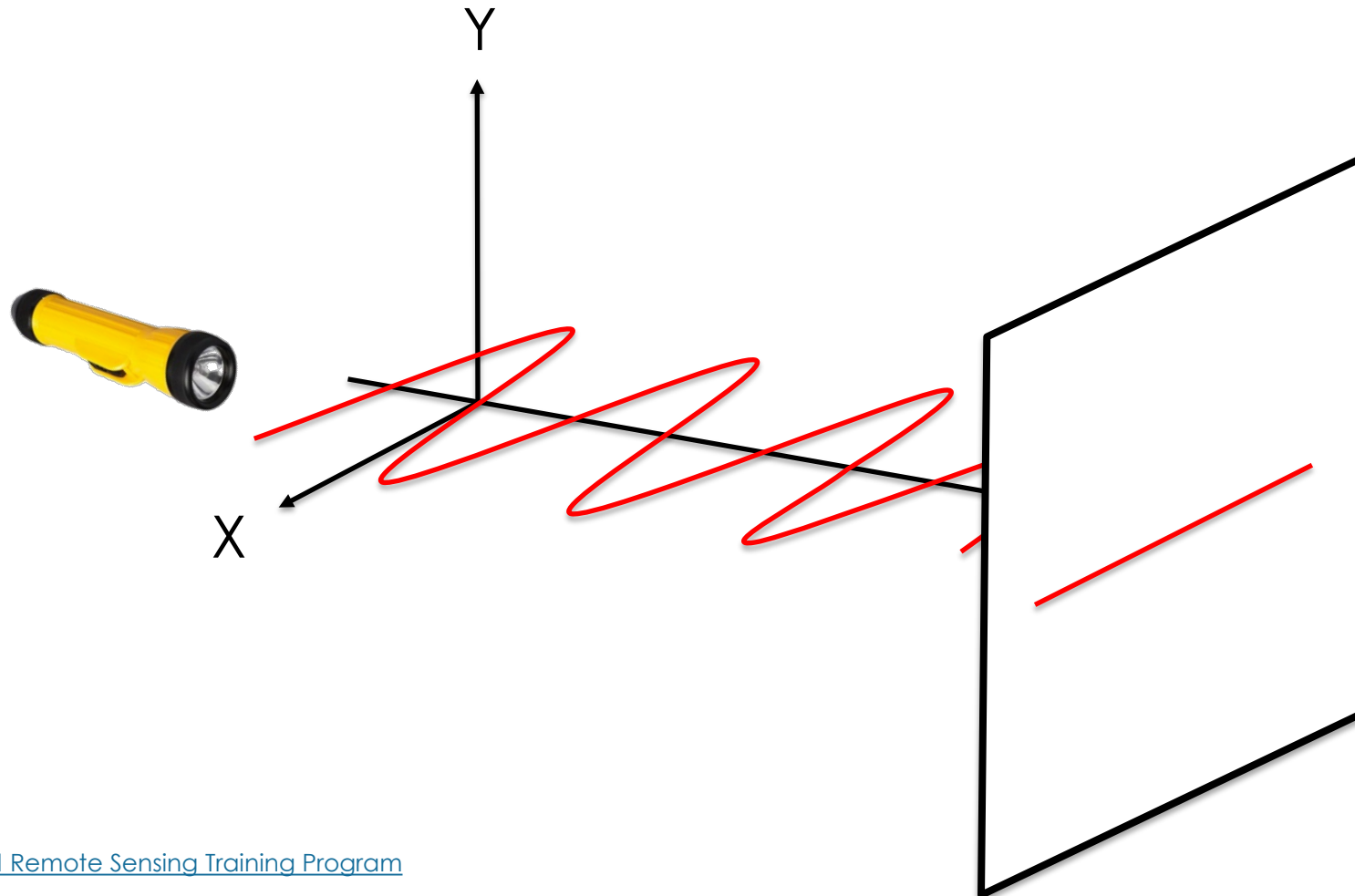


Lineal
Vertical



Características de los Sistemas – Fase y Polarización

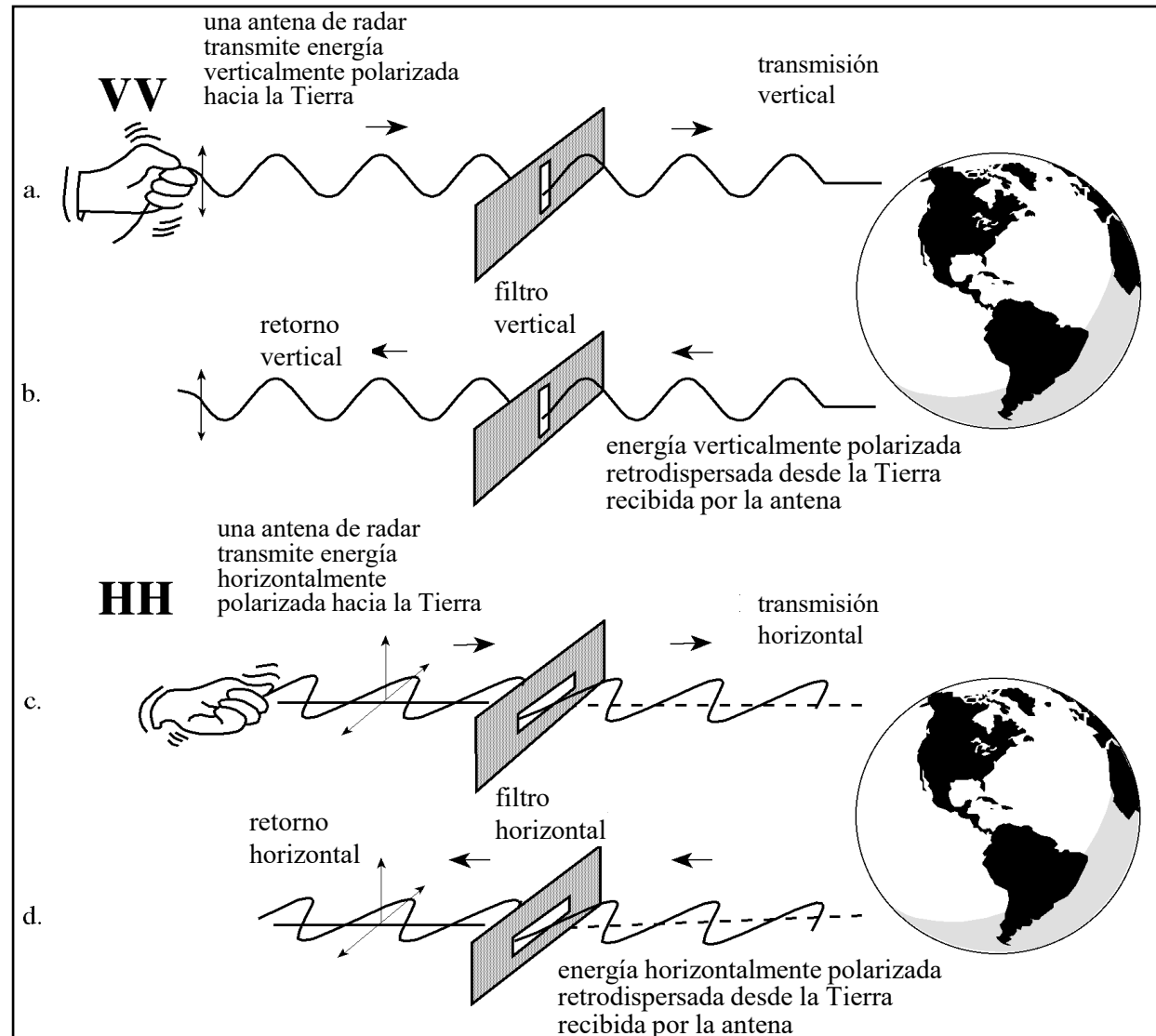
- Describe la orientación y la forma trazada por el campo eléctrico de la onda.
- Considere una forma trazada por la punta de un vector giratorio, proyectada en un plano



Lineal
Horizontal



Características de los Sistemas – Fase y Polarización

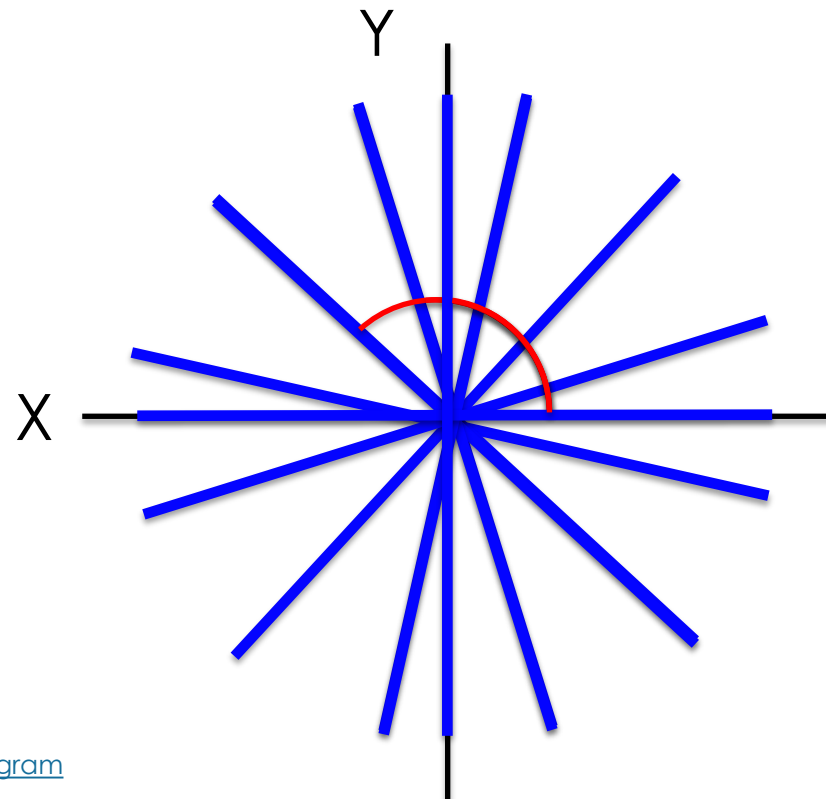


Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- Ángulo de Orientación
 - Convenio: se mide desde el eje x horizontal positivo en sentido antihorario
 - Rango de $0^\circ - 180^\circ$, se representa usando ψ (Psi)

¡Hay dos ángulos de orientación muy importantes que debe recordar!

Ψ para lineal horizontal
= 0°

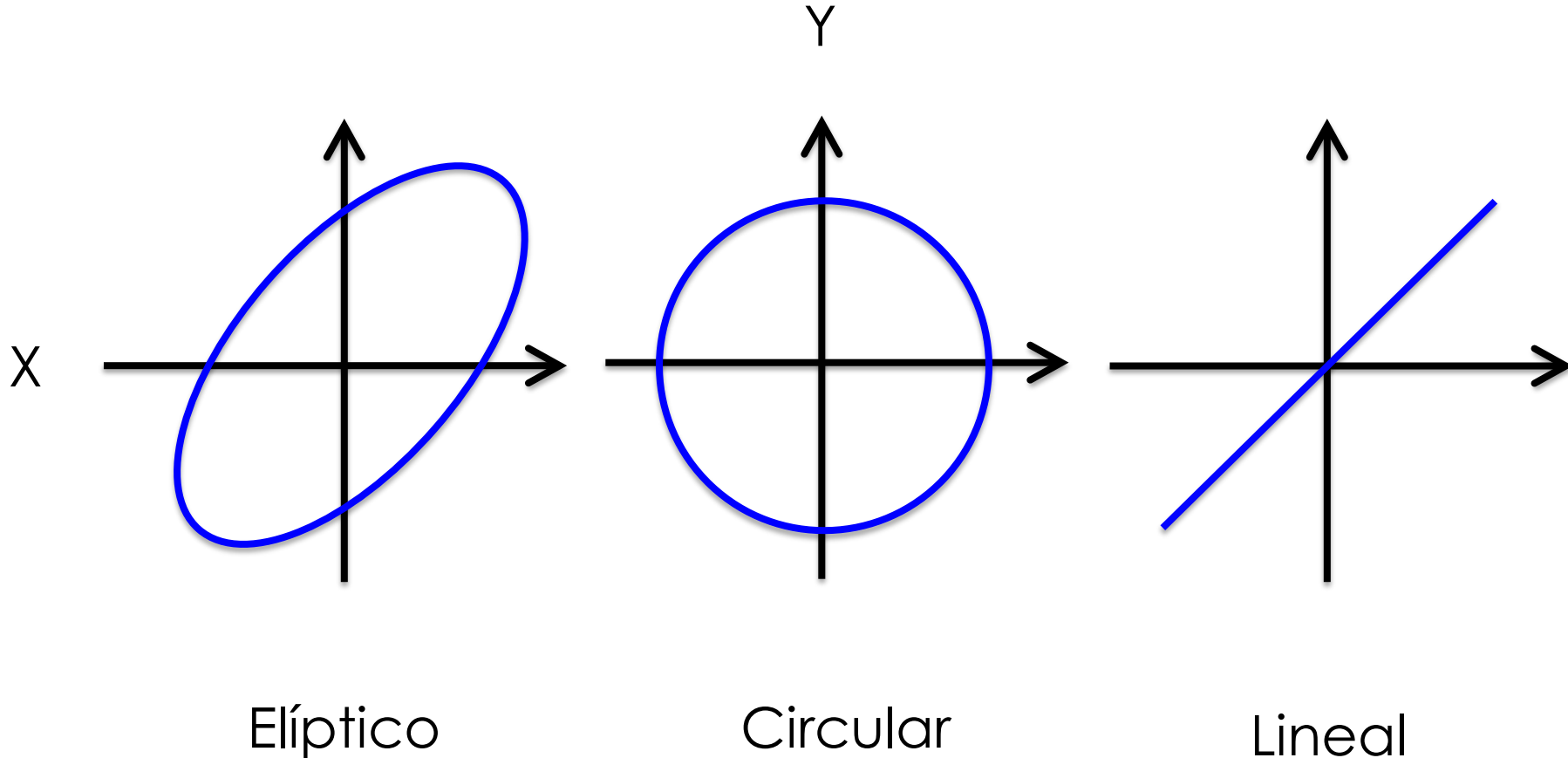


Ψ para lineal vertical
= 90°



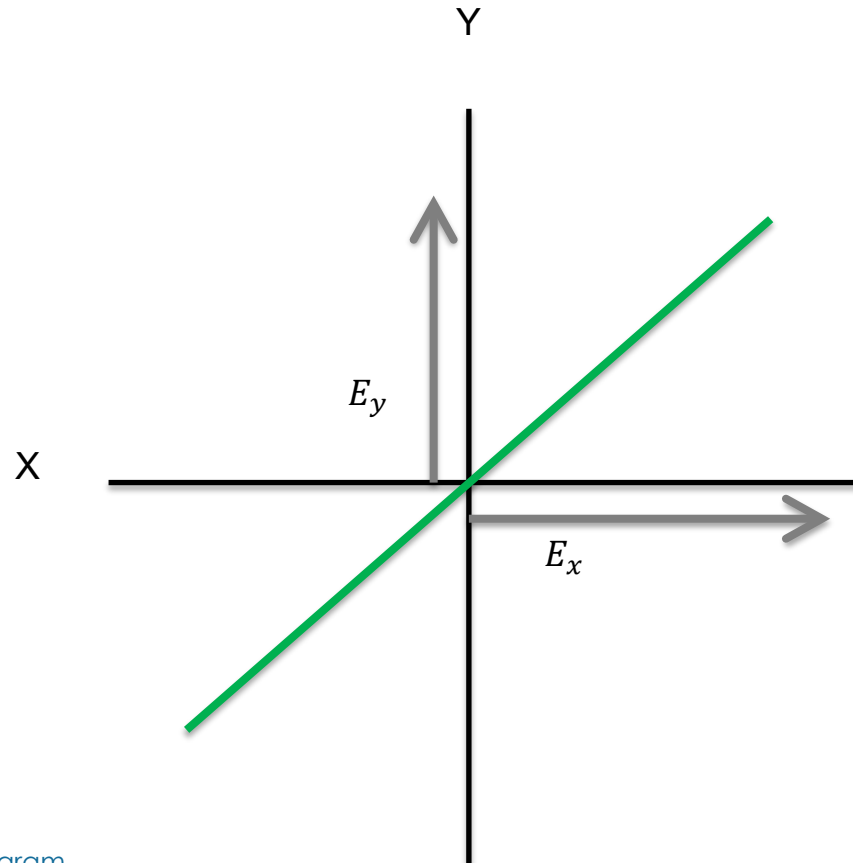
Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- Hay tres estados de polarización canónicos



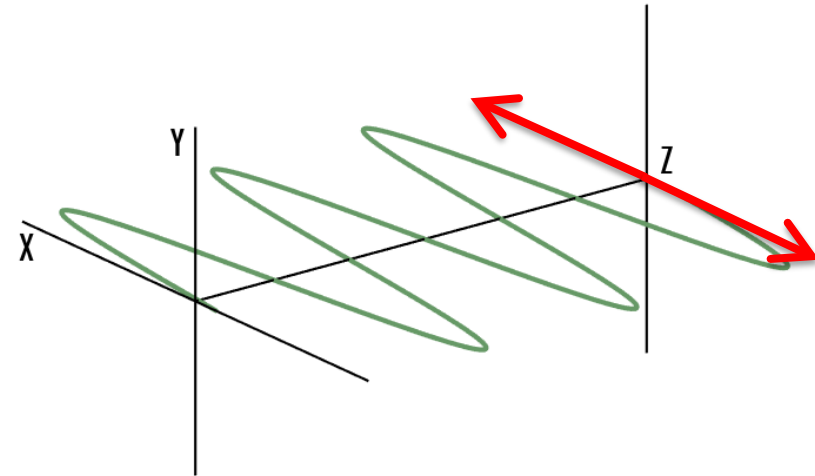
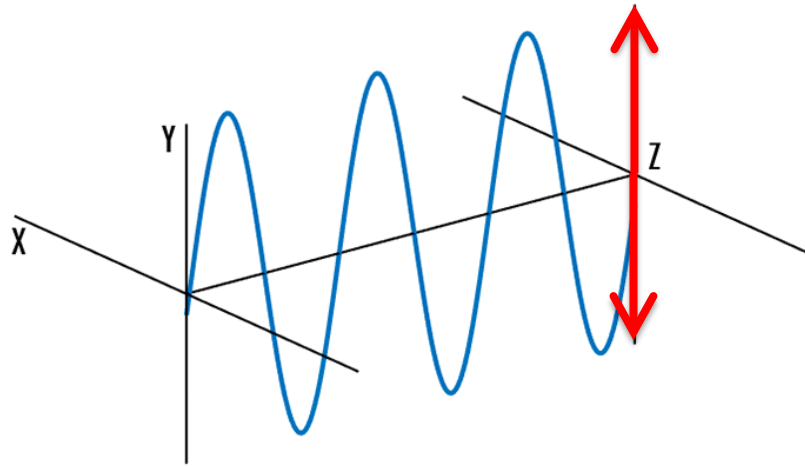
Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- ¡Cualquier estado de polarización puede describirse mediante dos ondas ortogonales lineales! (¡siempre y cuando también se mida la fase entre ellas!)
- Vertical (E_y) y horizontal (E_x)



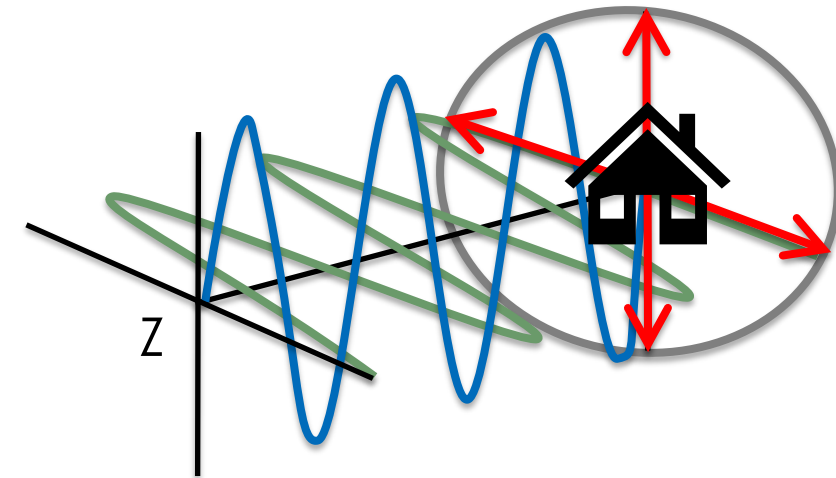
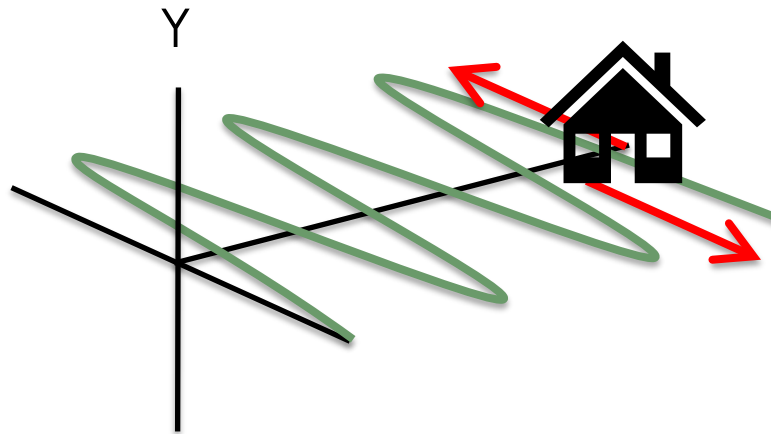
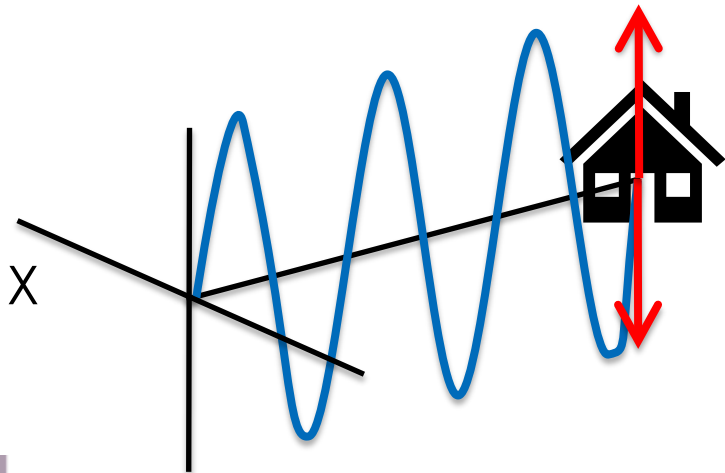
Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- Polarización Circular
 - Superposición de dos ondas lineales ortogonales
 - 90° fuera de fase
 - Amplitudes iguales



Características de los Sistemas – Fase y Polarización

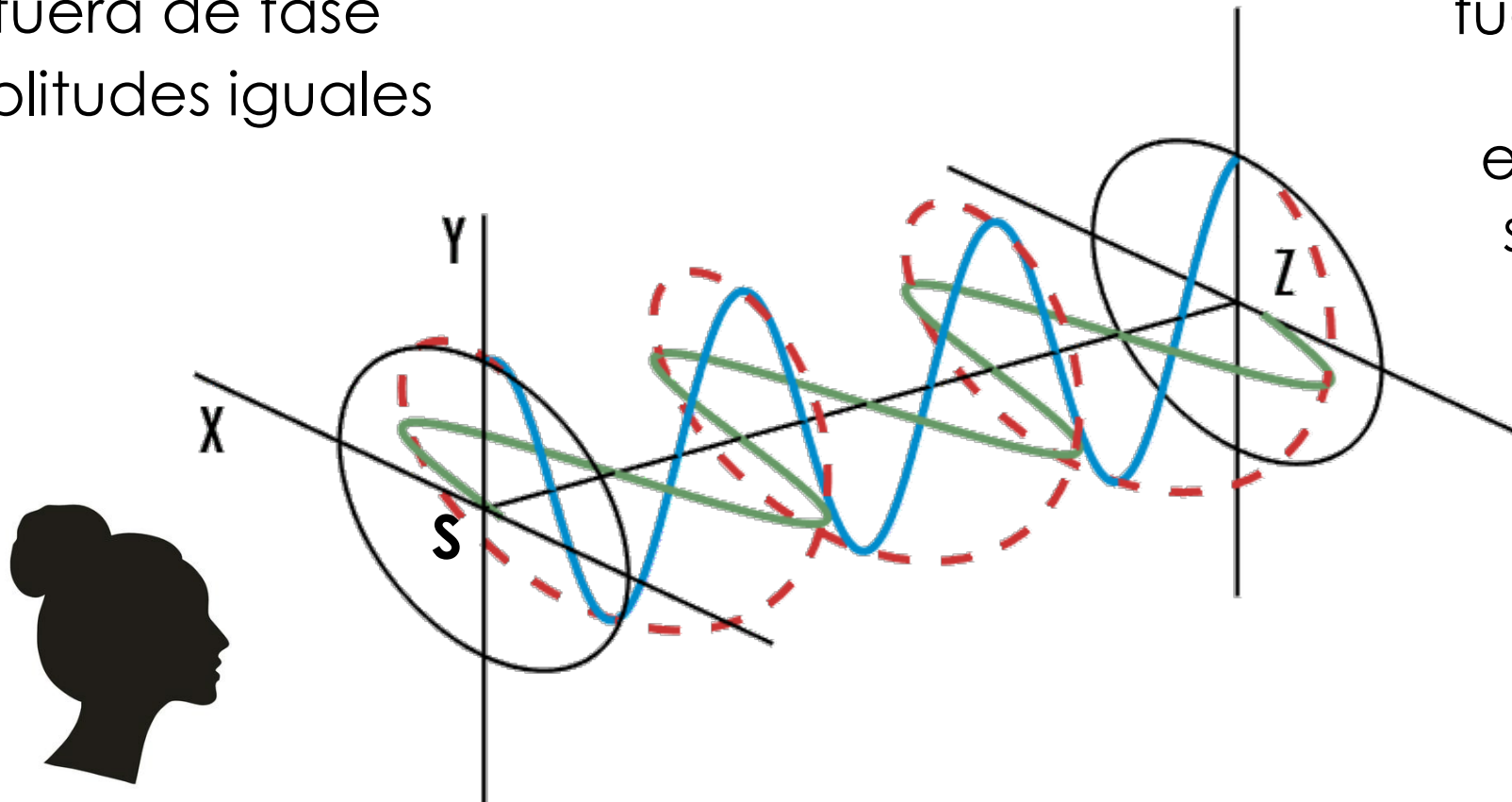
- Polarización circular
 - Superposición de dos ondas lineales ortogonales
 - 90° fuera de fase
 - Amplitudes iguales



Características de los Sistemas – Fase y Polarización

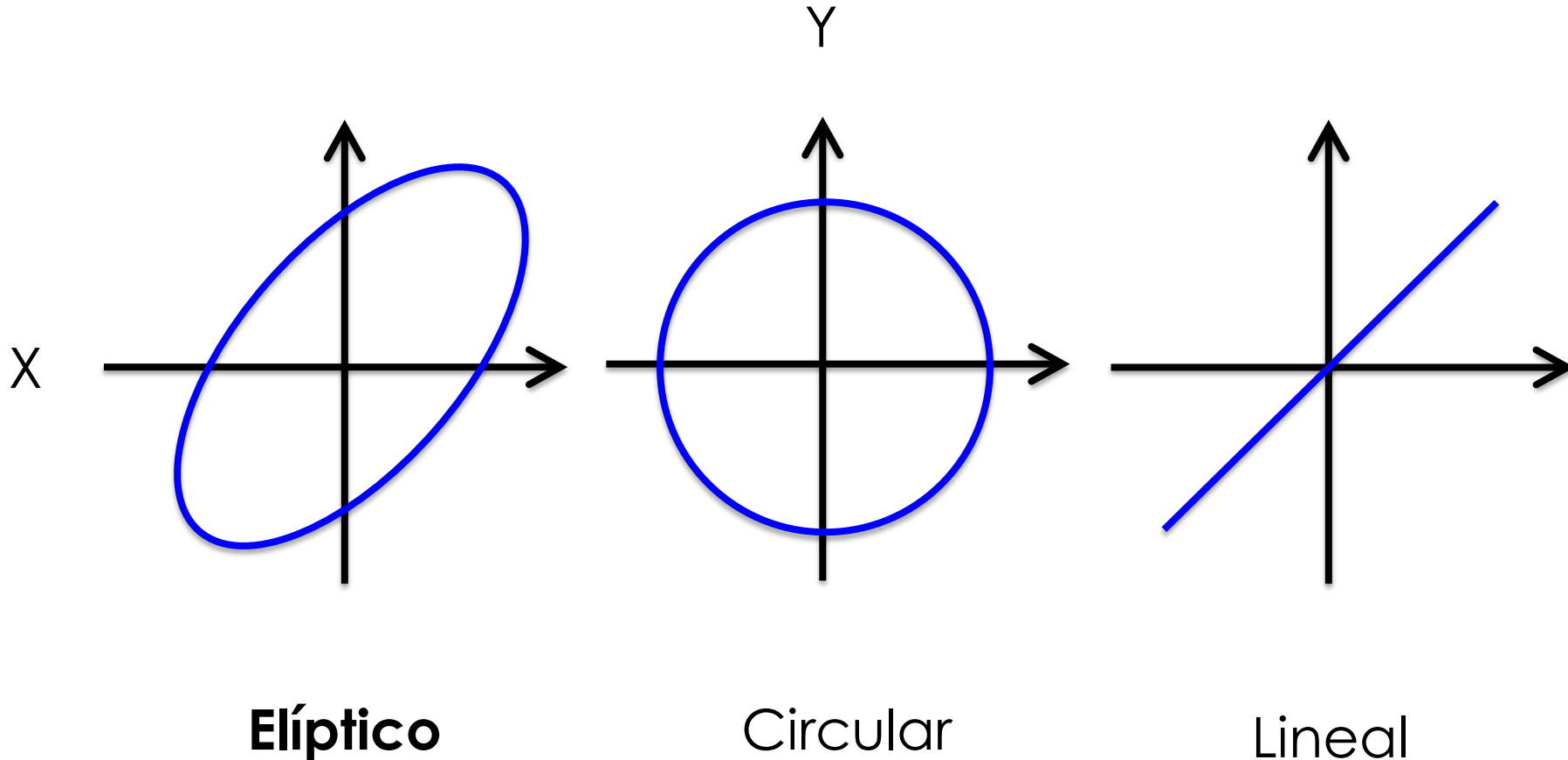
- Polarización circular
 - Superposición de dos ondas lineales ortogonales
 - 90° fuera de fase
 - Amplitudes iguales

Vista desde la fuente de la onda (S): el vector eléctrico gira en sentido horario



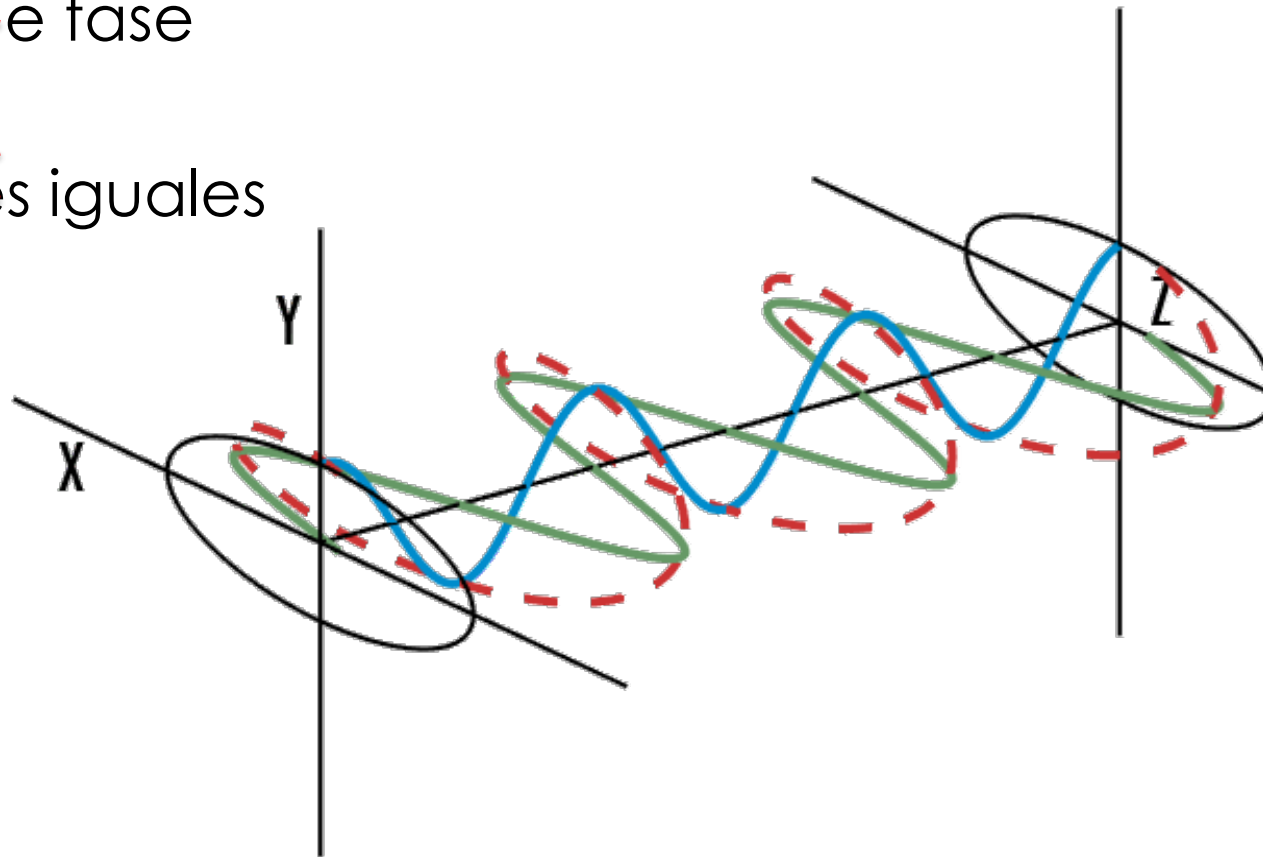
Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- Hay tres estados de polarización canónicos



Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- Polarización elíptica
 - Superposición de dos ondas lineales, ortogonales
 - ~~90° fuera de fase~~
- y/o...
 - ~~Amplitudes iguales~~

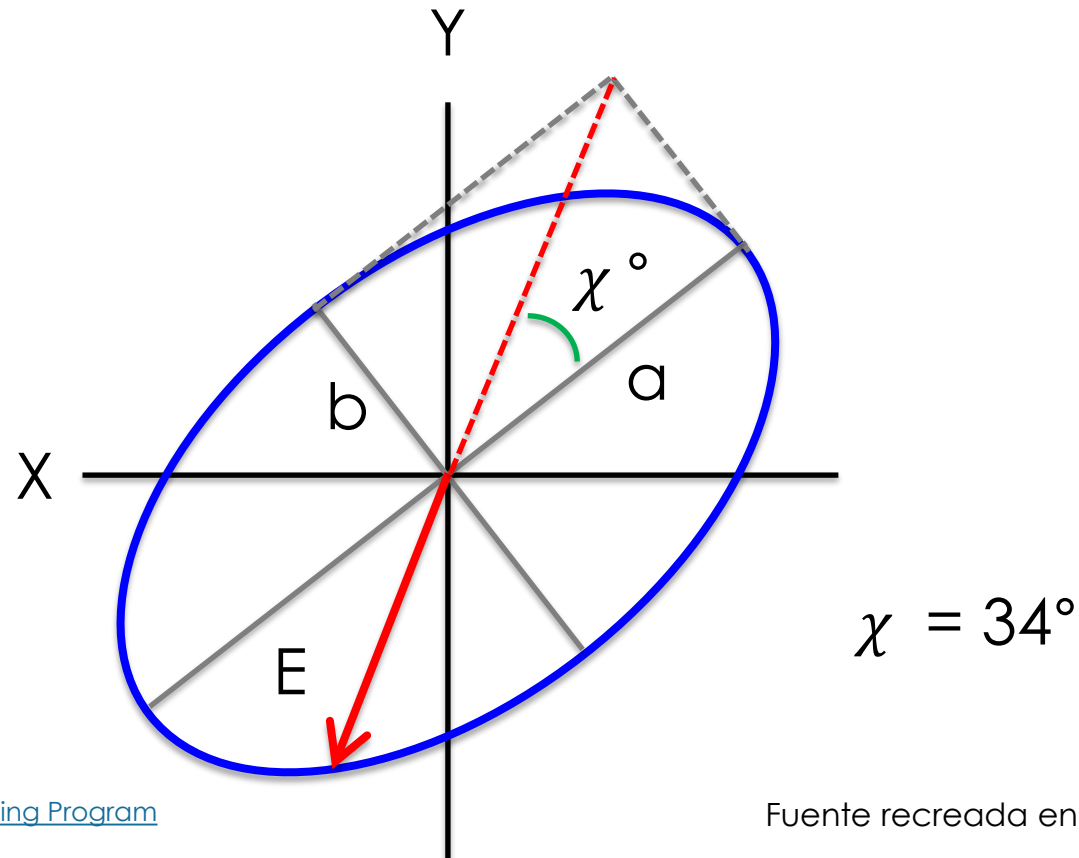


Se puede describir cualquier onda usando solo 2 componentes ortogonales (normalmente H y V)



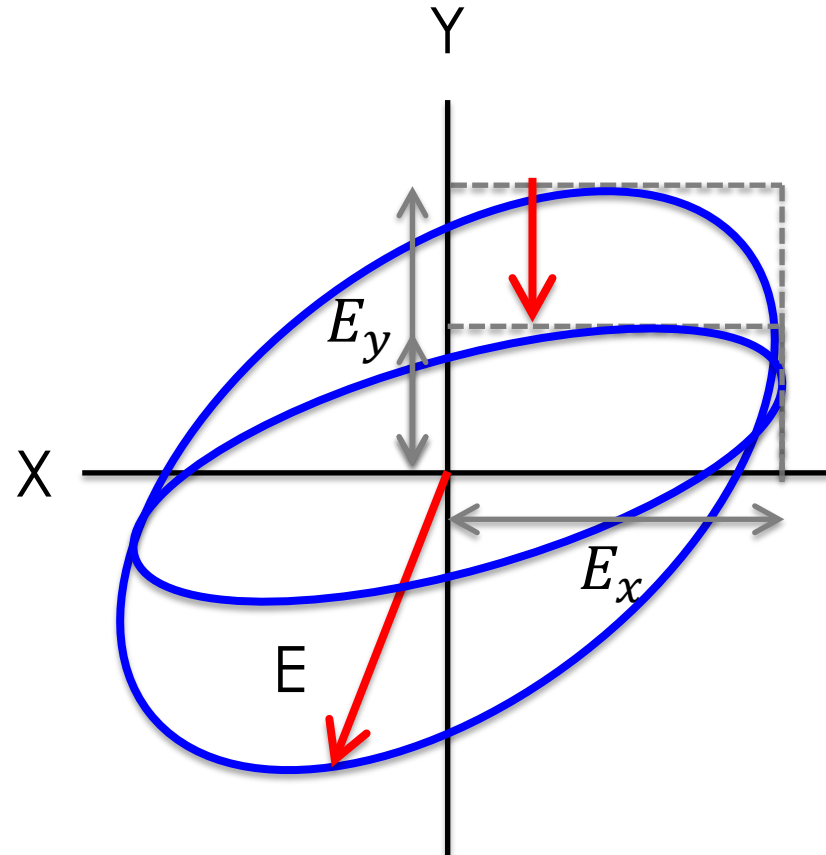
Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- Elipticidad/excentricidad
 - Grado de no-circularidad
 - Es una función de los ejes semi-mayor y semi-menor, a y b
 - Tiene un rango de -45° a $+45^\circ$, se representa usando χ Chi /ji/



Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- No se olviden que hay un componente vertical (E_y) y horizontal (E_x)
- La onda tiende hacia lo horizontal mientras que el componente E_y se acerca a cero y vice versa



¡El mismo sistema puede medir la polarización circular, lineal, y/o elíptica!

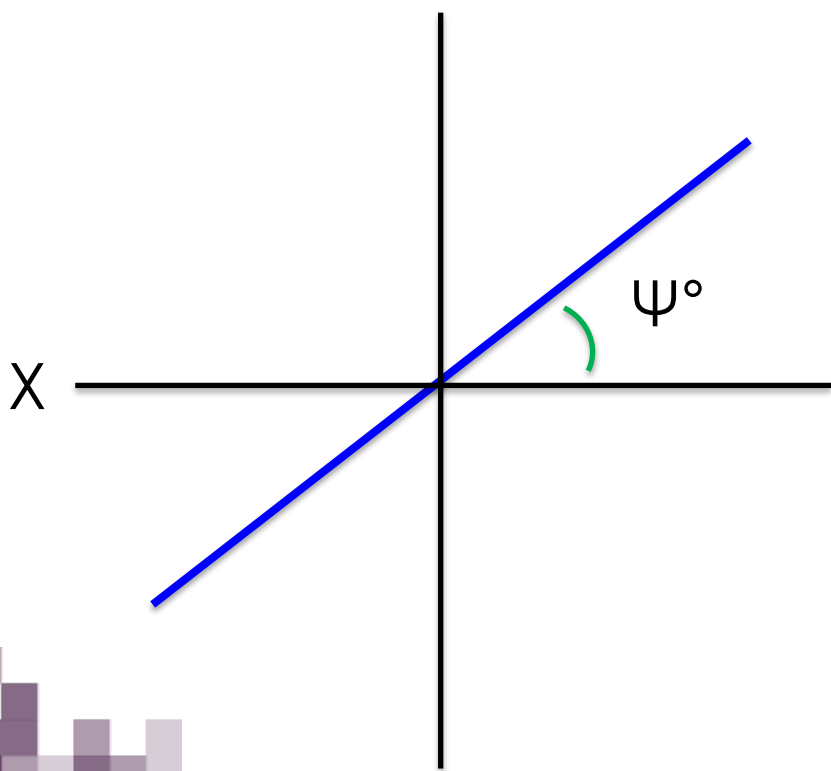


Características de los Sistemas – Fase y Polarización

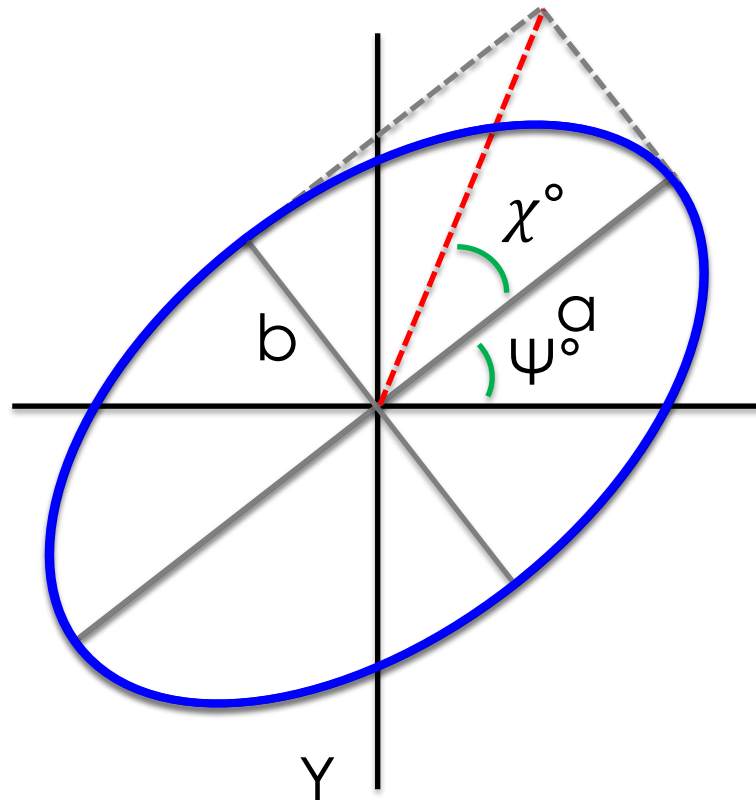
- χ – elipticidad (grado al que la forma es ovalada)
- Ψ – ángulo de orientación (se mide en sentido antihorario desde X positivo)

Ψ no está definido para el estado circular!

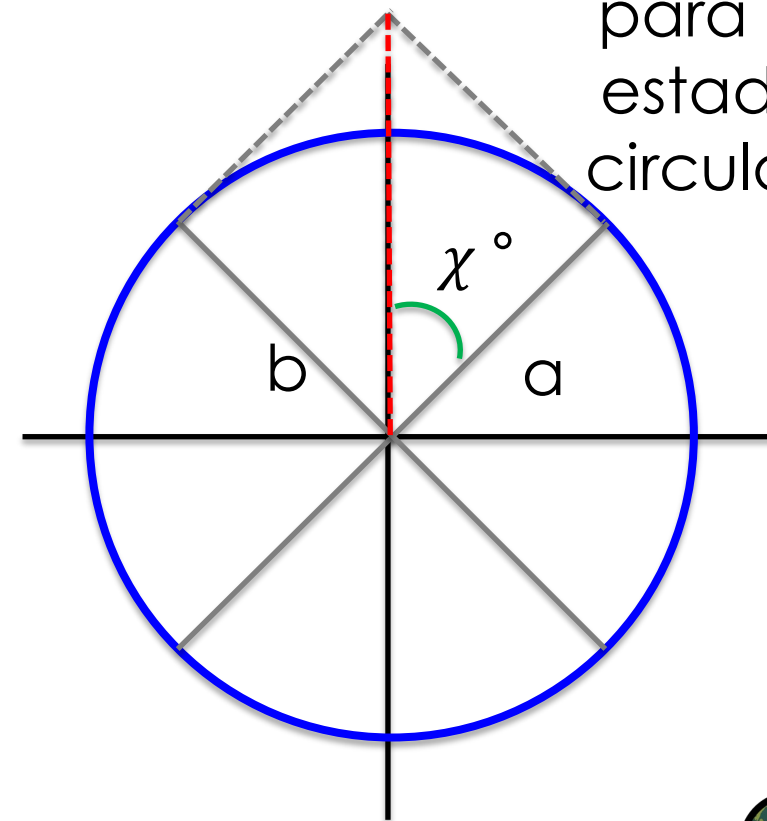
$$\chi = 0^\circ$$
$$\Psi = 45^\circ$$



$$\chi = 34^\circ$$
$$\Psi = 45^\circ$$

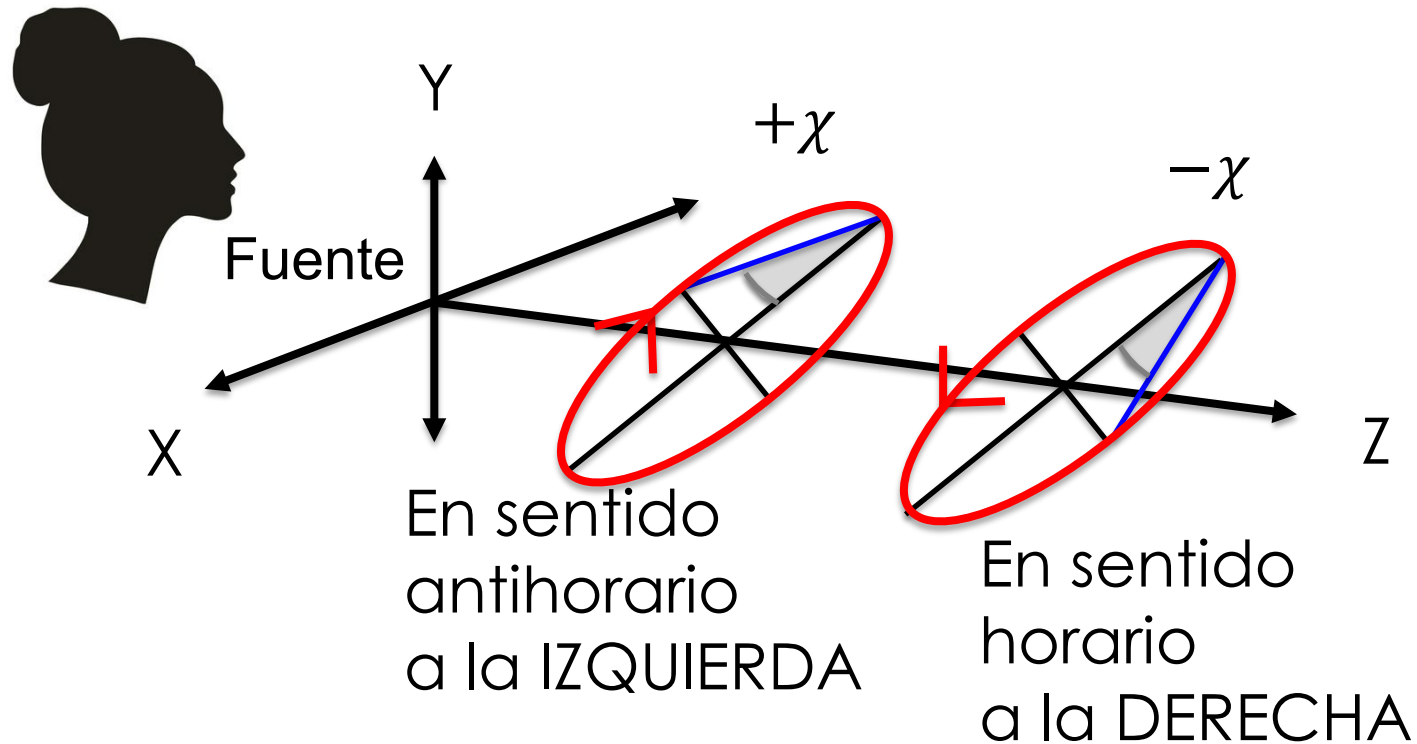


$$\chi = 45^\circ$$



Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- Las ondas de polarización elíptica y circular tienen una dirección de rotación
- El sentido nos dice si la punta del vector gira en sentido horario o antihorario
- Pero imagínense verlo desde la otra dirección



Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- El sistema de coordenadas está definido por 3 ejes (X, Y y Z)
- Dos convenios

1) Forward Scatter Alignment¹ (FSA)

- La z positiva siempre apunta en la dirección de desplazamiento

2) Back Scatter Alignment¹ (BSA)

- La z positiva siempre apunta hacia el objetivo
- *Más común

1- Alineado con la dispersión hacia adelante

2- Alineado con la retrodispersión (hacia atrás)

[NASA's Applied Remote Sensing Training Program](#)

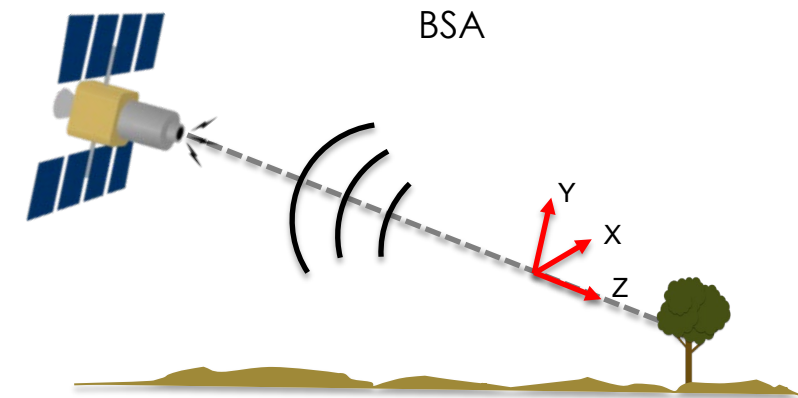
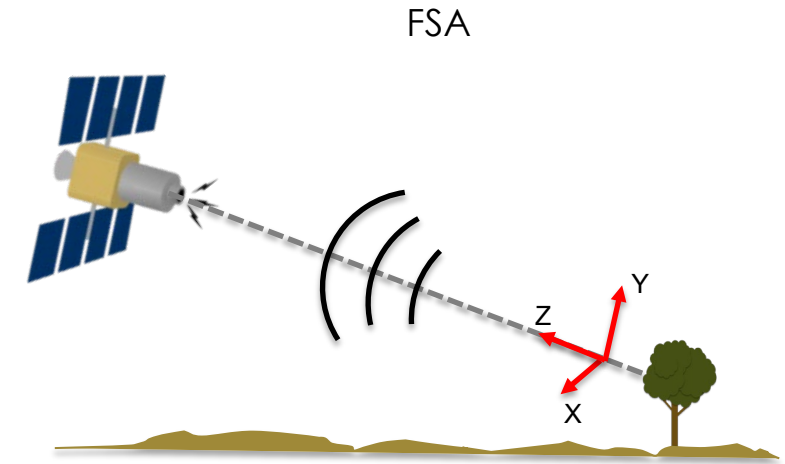
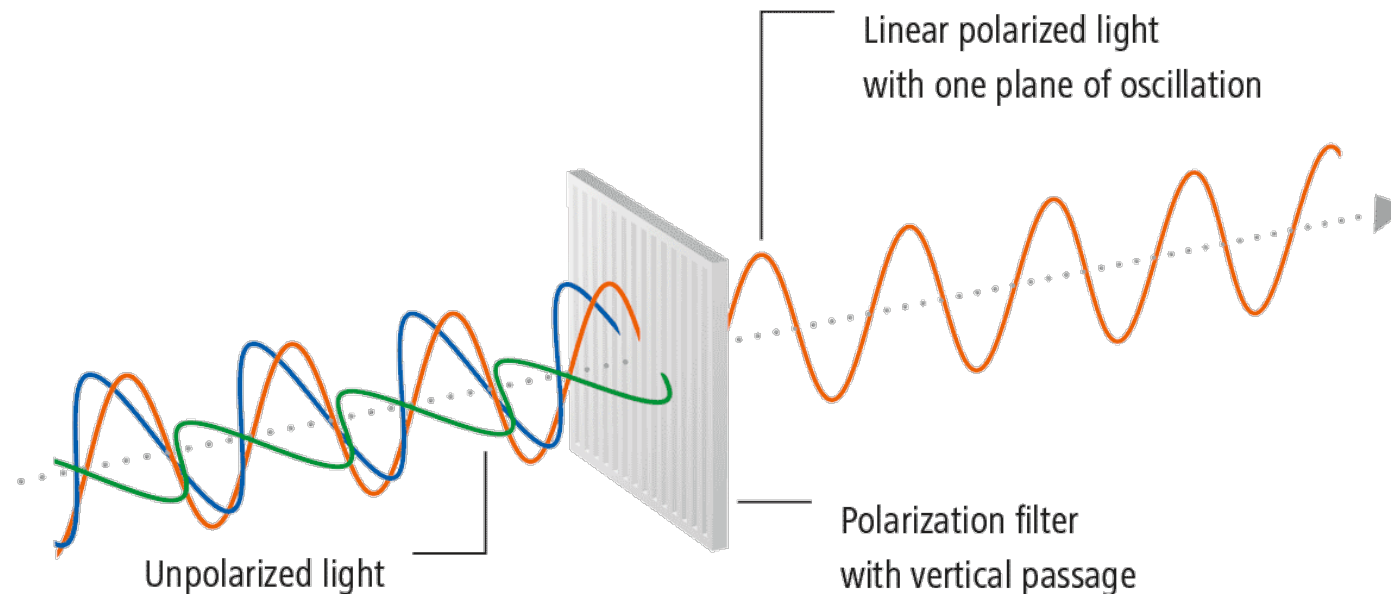


Imagen creada en base a: Gabriel Vasile, Nikola Besic.
Fundamental of Remote Sensing: SAR polarimetry. GIPSA-lab.



Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- Completamente no polarizado – oscila de manera aleatoria; no tiene ninguna polarización claramente definida
- Completamente polarizado – oscila en el plano de polarización en todo momento
- Parcialmente polarizado – una combinación; superposición de varias diferentes polarizaciones; una o más dominan



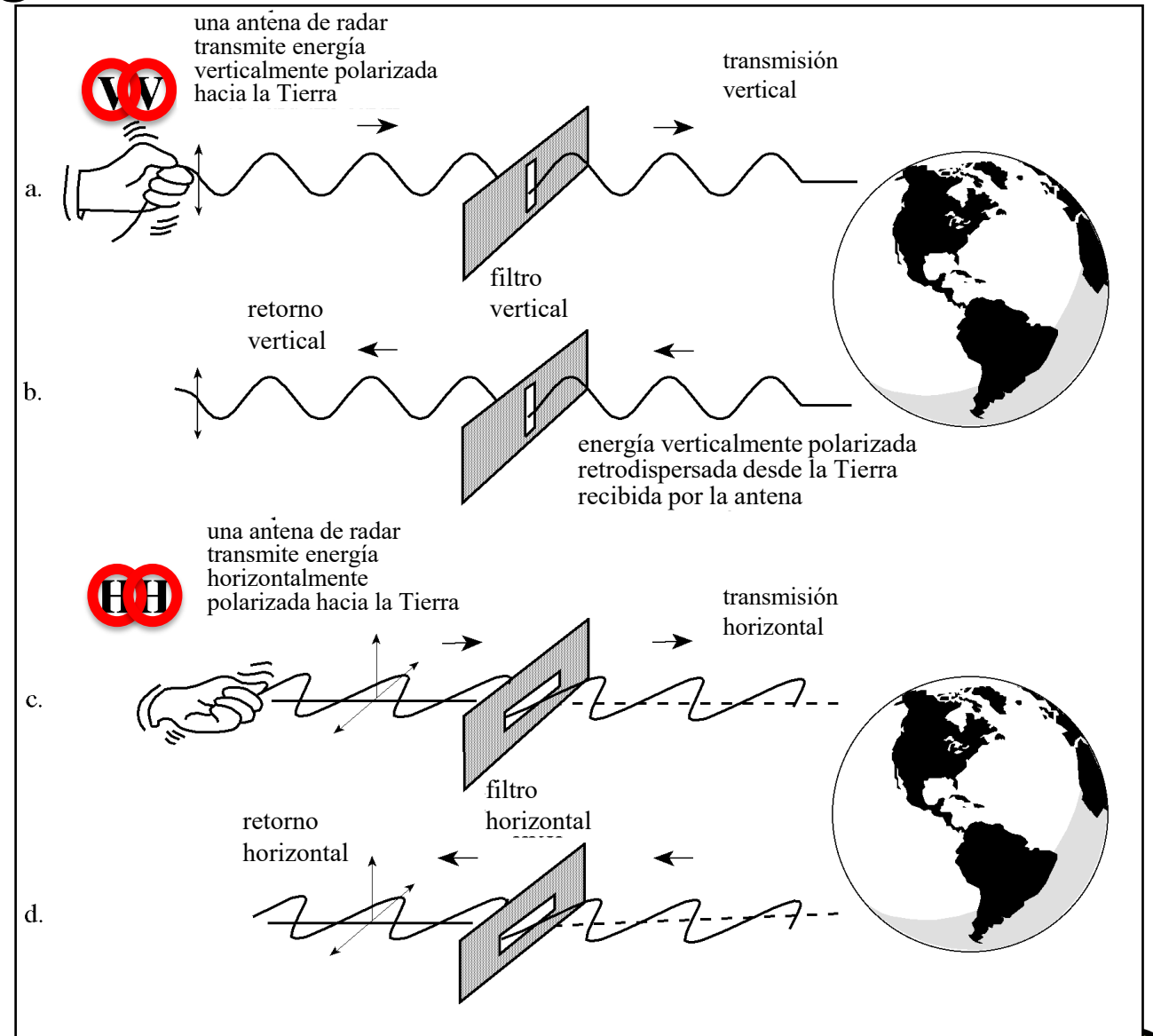
Características de los Sistemas – Fase y Polarización

- La onda transmitida es completamente polarizada
- La onda dispersada depende de:
 - 1) Objetivos coherentes
 - La retrodispersión es completamente polarizada (p.ej. edificios)
 - 2) Objetivos incoherentes
 - La retrodispersión es parcial o completamente no-polarizada (p. ej. árboles)
 - La despolarización de múltiples rebotes dentro del medio de estructuras aleatoriamente orientadas
- Grado de polarización = potencia polarizada/potencia total



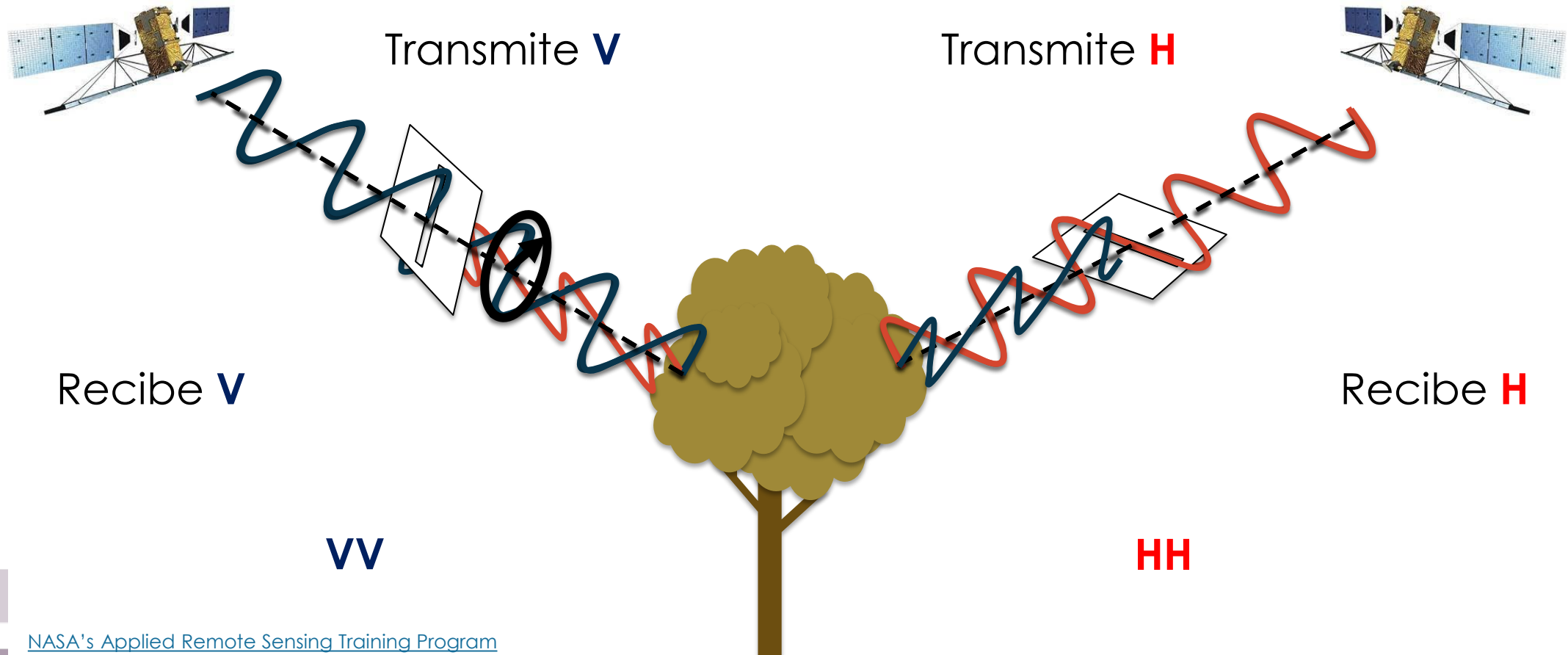
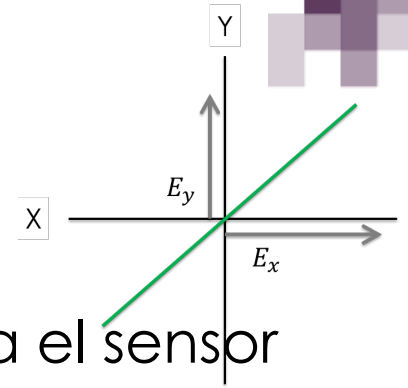
Modos de Generación de Imágenes Comunes

- Diferentes configuraciones de polarizaciones; se representan con dos letras
- **Primera** polarización de la transmisión
- **Segunda** polarización del retorno
- Típicamente H: lineal horizontal y V: lineal vertical



Modos de Generación de Imágenes SAR Comunes

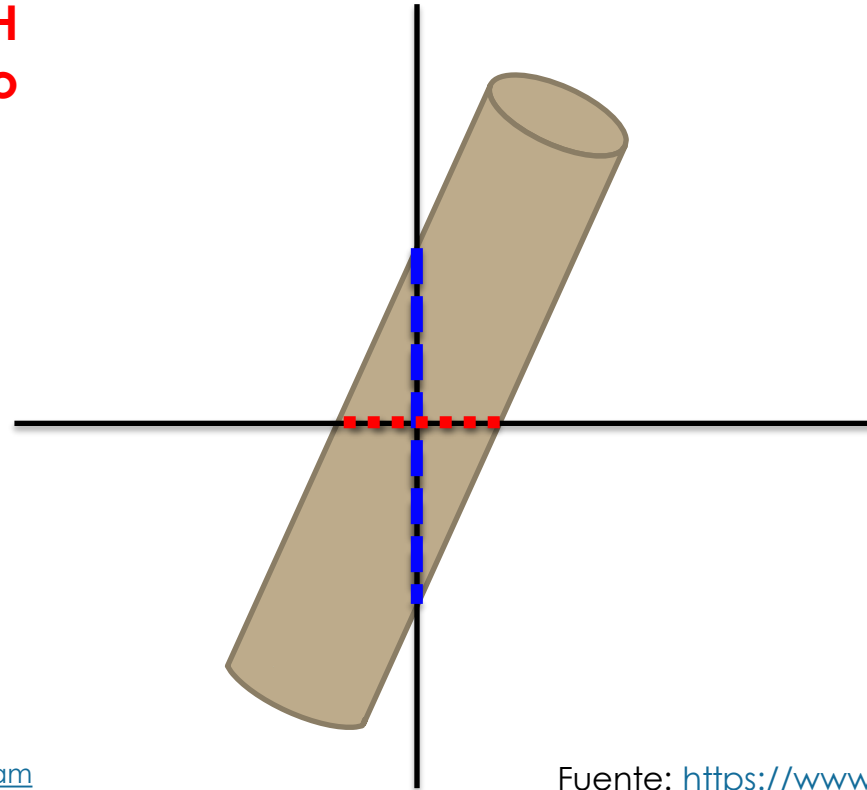
- La onda retorna polarizada (P.ej., **H** o **V**)
- Solo se registra una porción de lo que es dispersado de vuelta hacia el sensor



Modos de Generación de Imágenes SAR Comunes

- Retorno
 - Proporcional a la sección transversal del objetivo; la cantidad de energía que llega al objetivo
 - La **orientación** y **polarización** que transmitimos determinan la cantidad de retorno

Retorno para **HH**
indicado en **rojo**



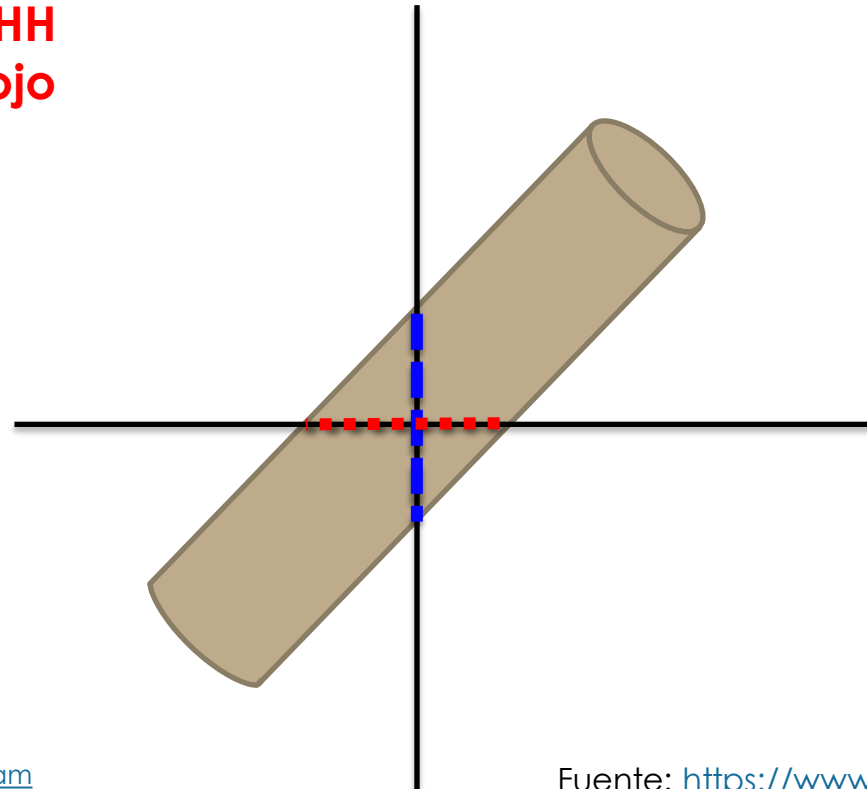
Retorno para **VV**
indicado en **azul**



Modos de Generación de Imágenes SAR Comunes

- Retorno
 - Proporcional a la sección transversal del objetivo; la cantidad de energía que llega al objetivo
 - La **orientación** y **polarización** que transmitimos determinan la cantidad de retorno

Retorno para **HH**
indicado en **rojo**



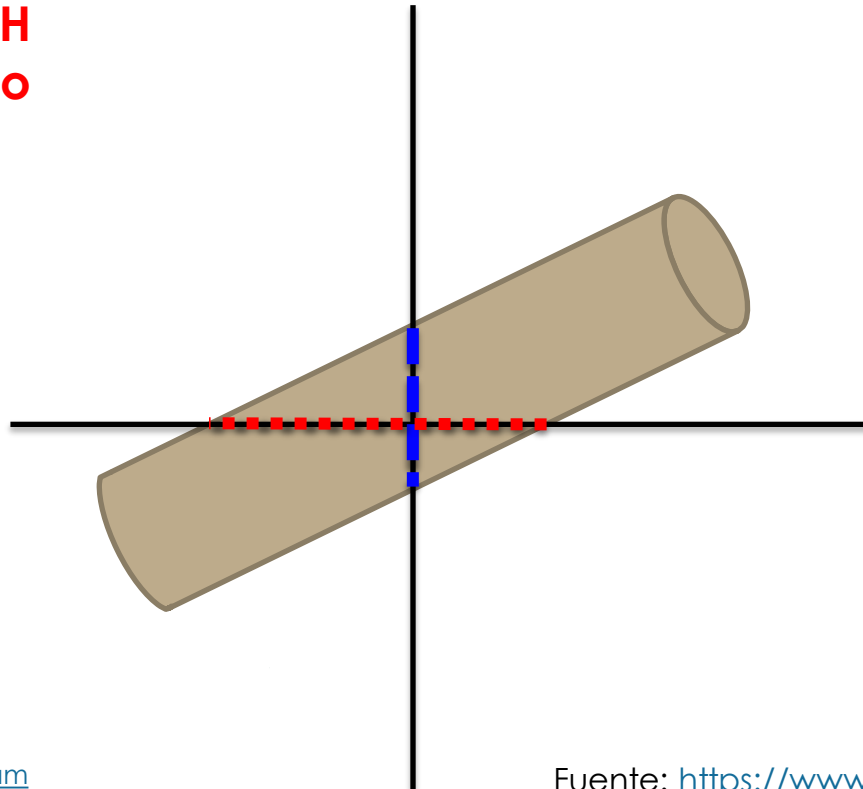
Retorno para **VV**
indicado en **azul**



Modos de Generación de Imágenes SAR Comunes

- Retorno
 - Proporcional a la sección transversal del objetivo; la cantidad de energía que llega al objetivo
 - La **orientación** y **polarización** que transmitimos determinan la cantidad de retorno

Retorno para **HH**
indicado en **rojo**



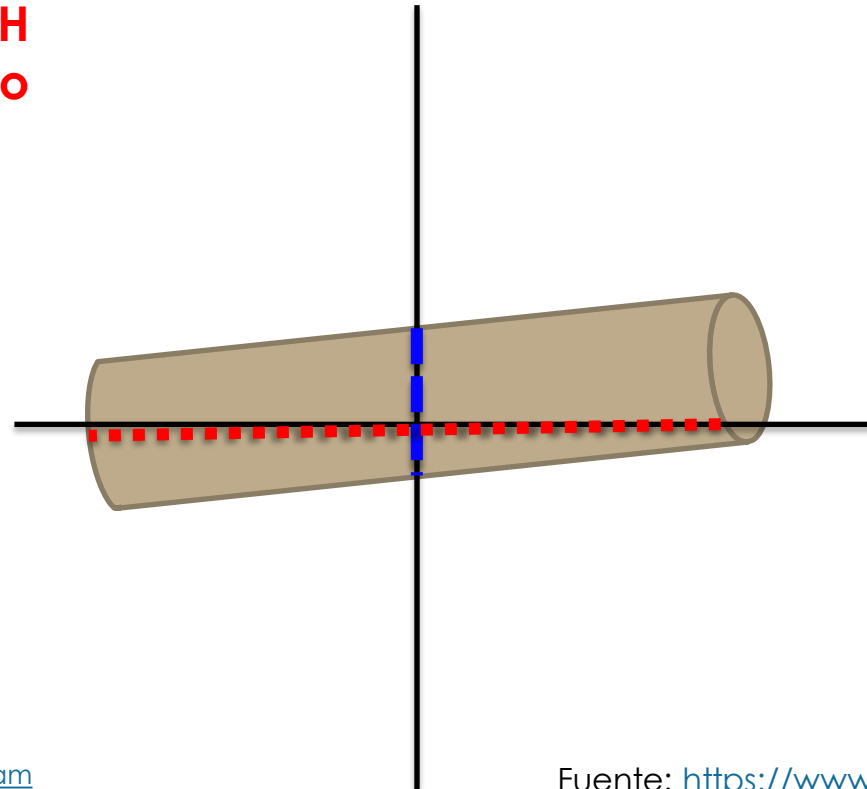
Retorno para **VV**
indicado en **azul**



Modos de Generación de Imágenes SAR Comunes

- Retorno
 - Proporcional a la sección transversal del objetivo; la cantidad de energía que llega al objetivo
 - La **orientación** y **polarización** que transmitimos determinan la cantidad de retorno

Retorno para **HH**
indicado en **rojo**

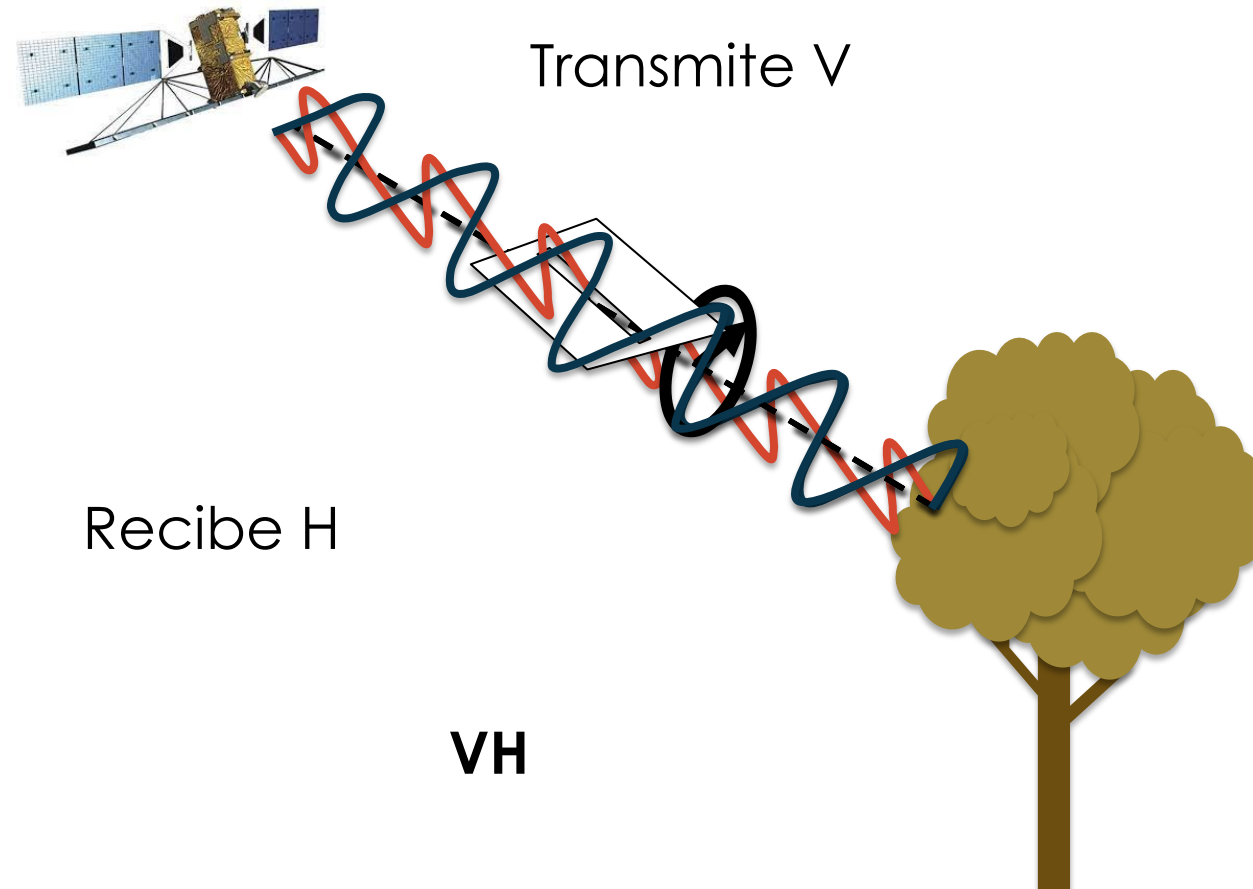


Retorno para **VV**
indicado en **azul**



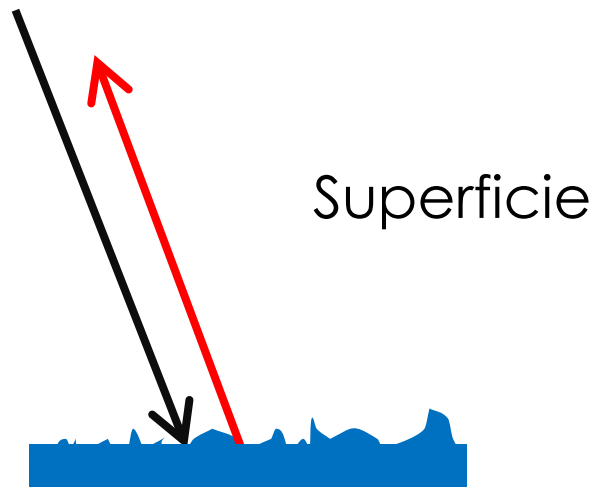
Modos de Generación de Imágenes SAR Comunes

- Co-pol: HH o VV
- Pol-cruzada: HV o **VH**

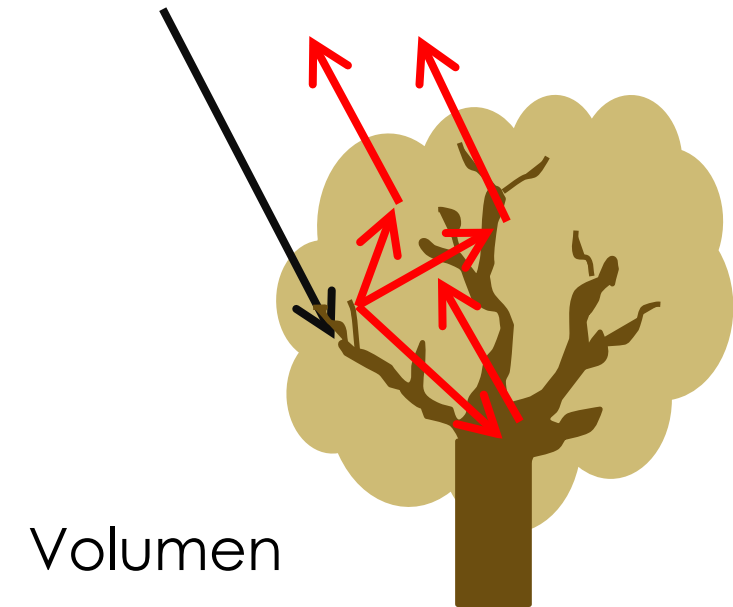


Modos de Generación de Imágenes SAR Comunes

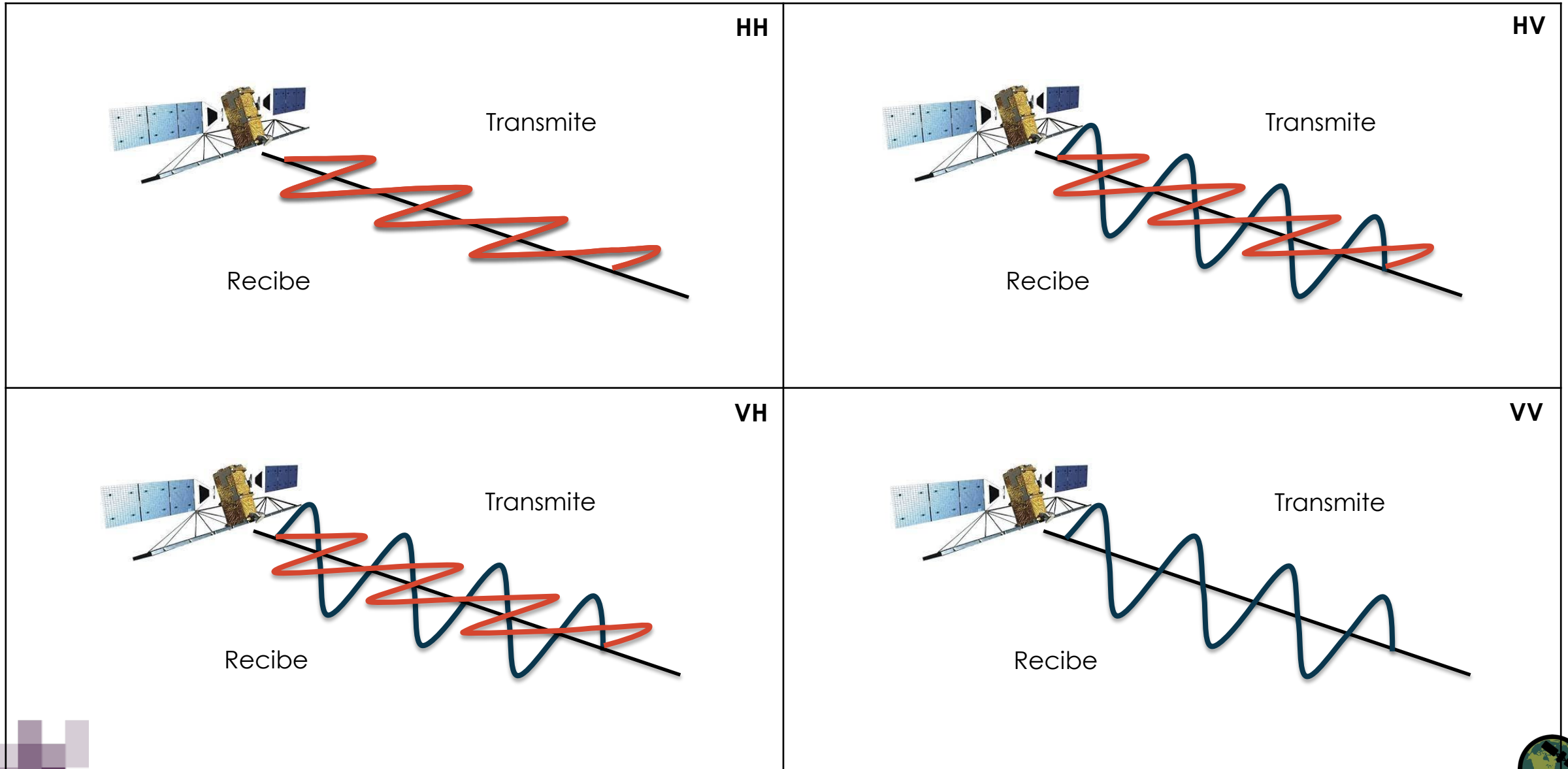
- Dispersión en la superficie: los retornos mayormente tienen la misma polarización que el pulso transmitido



- Dispersión de volumen: varios rebotes dentro del medio de estructuras aleatoriamente orientadas despolarizan la señal

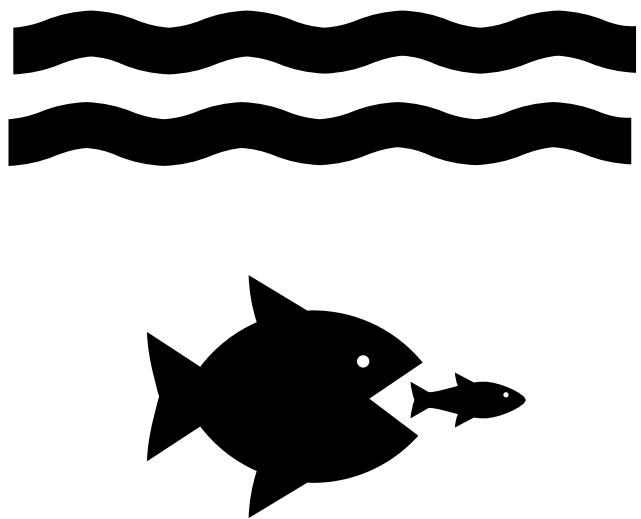


Modos de Generación de Imágenes SAR Comunes

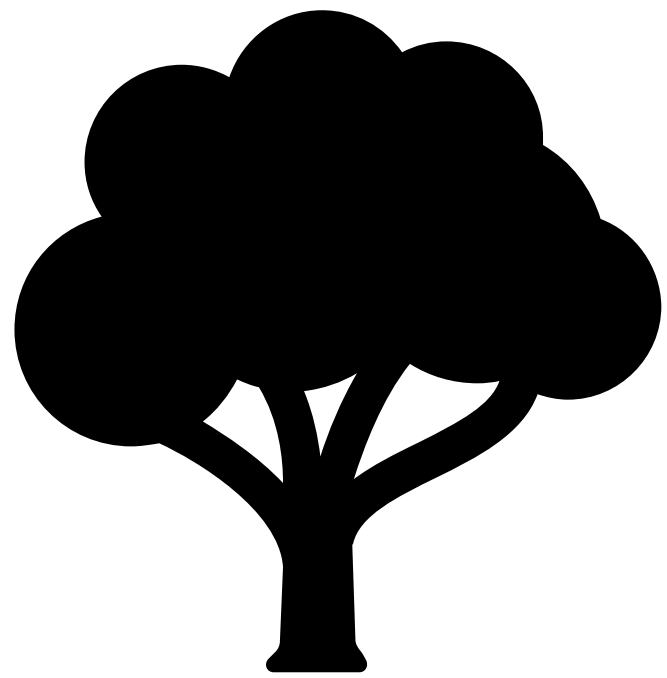


Modos de Generación de Imágenes SAR Comunes

Baja



Mediana



Brillante



Modos de Generación de Imágenes SAR Comunes

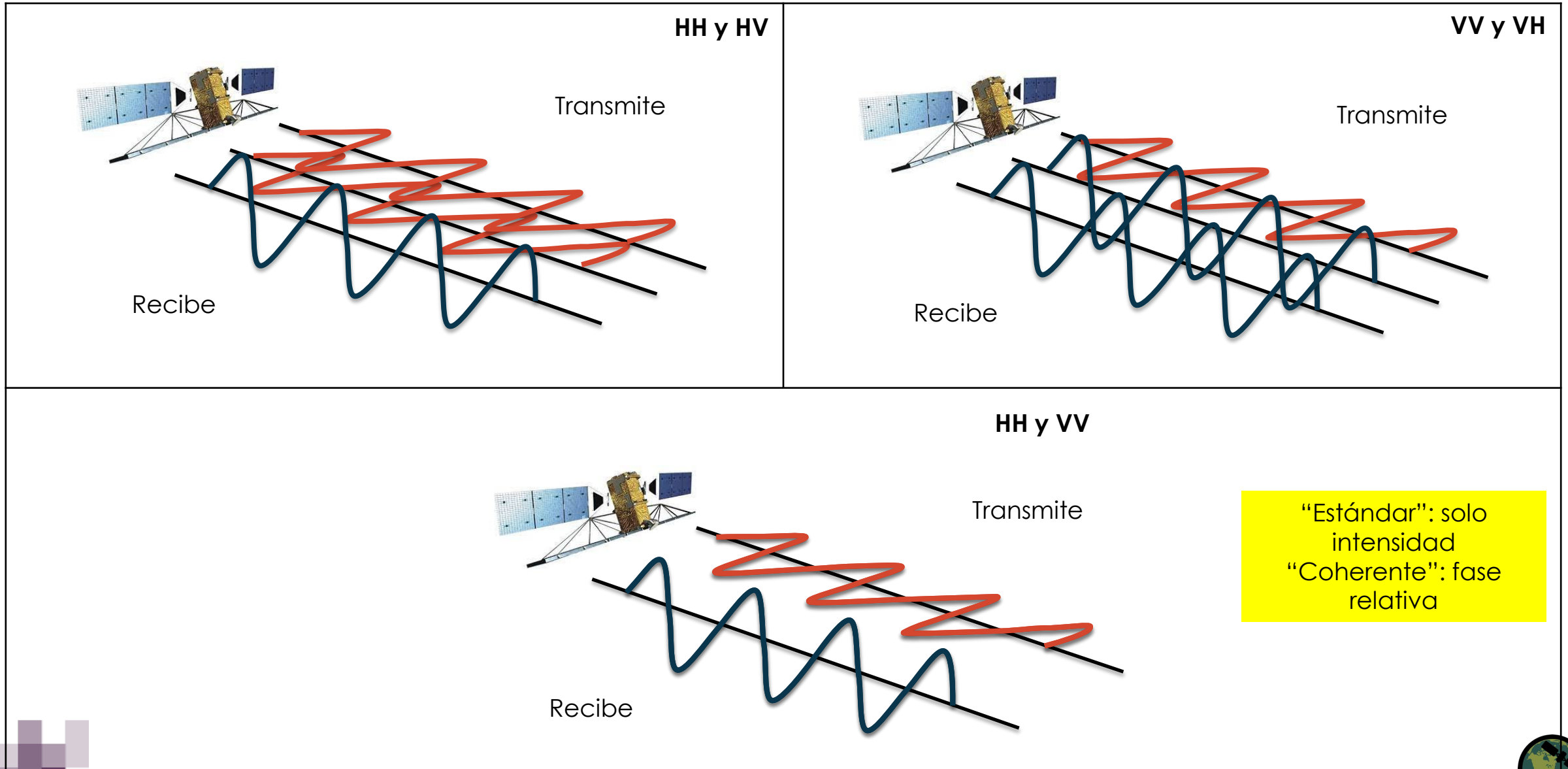
Procesamiento/
Almacenamiento
Requisitos de Potencia
Contenido Informático

Bajo
↓
Alto

singular	<ul style="list-style-type: none">- HH- VV- HV- VH
dual (con y sin fase)	<ul style="list-style-type: none">- HH y HV- VV y VH- HH y VV



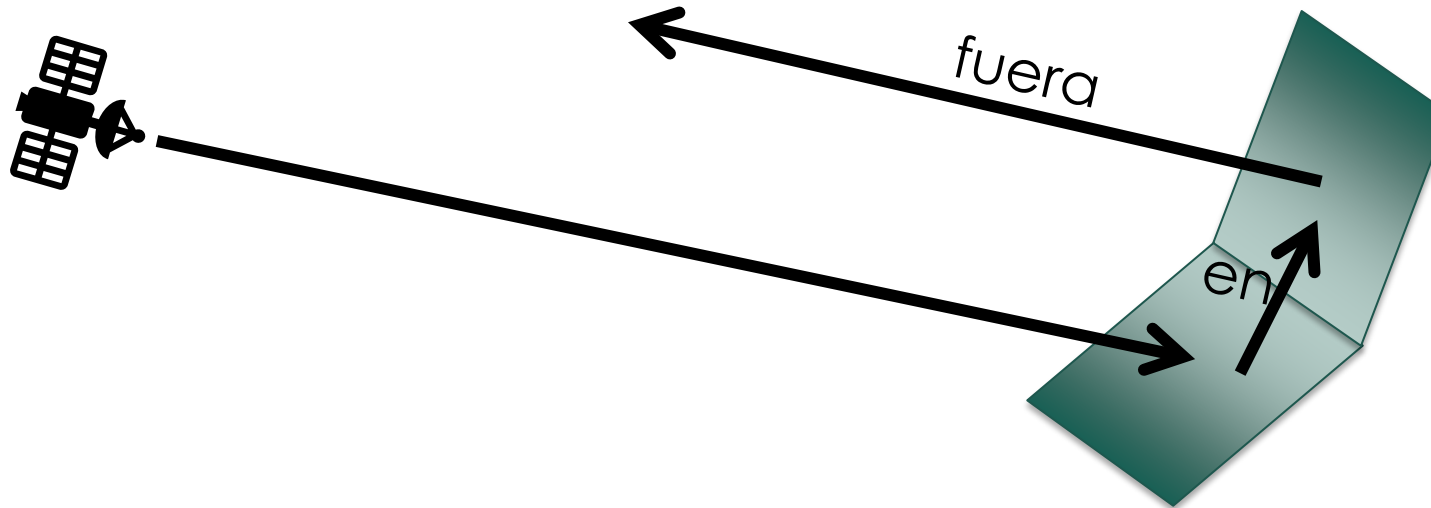
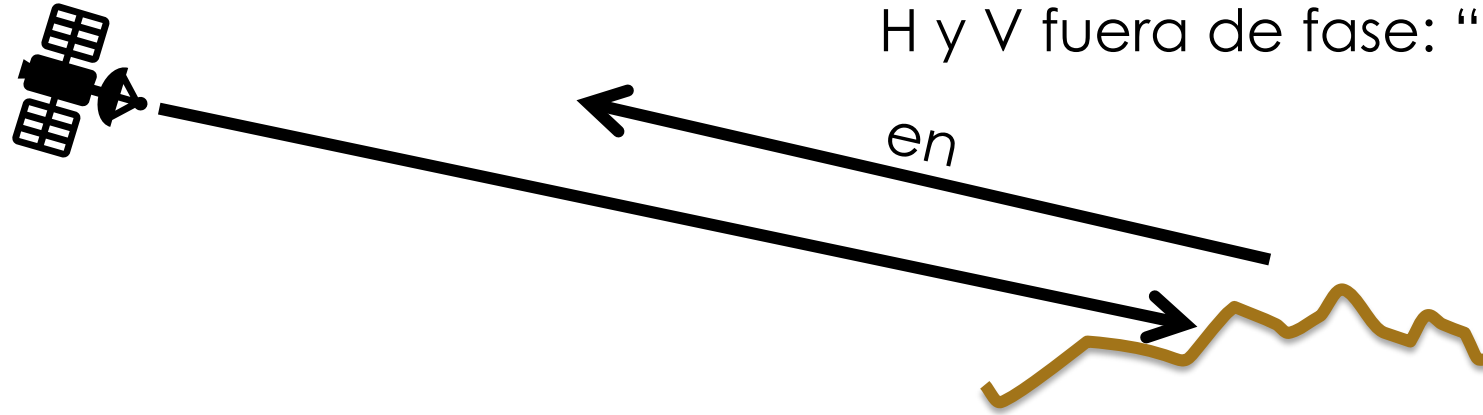
Modos de Generación de Imágenes SAR Comunes



Modos de Generación de Imágenes SAR Comunes

H y V en fase: "en"

H y V fuera de fase: "fuera"



Diferencia de fase
co-pol: HH-VV



Modos de Generación de Imágenes SAR Comunes

Procesamiento/
Almacenamiento
Requisitos de Potencia
Contenido Informático

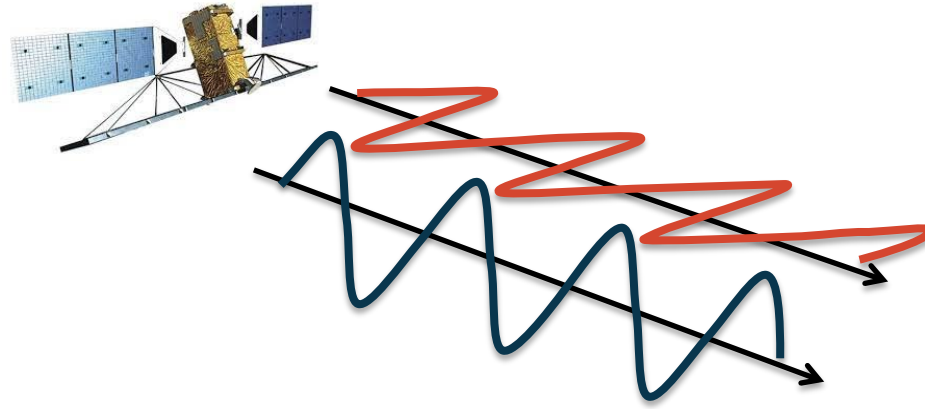
Bajo
↓
Alto

singular	<ul style="list-style-type: none">- HH- VV- HV- VH
dual (con y sin fase)	<ul style="list-style-type: none">- HH y HV- VV y VH- HH y VV
polarimétrico	<ul style="list-style-type: none">- HH, VV, HV, y VH

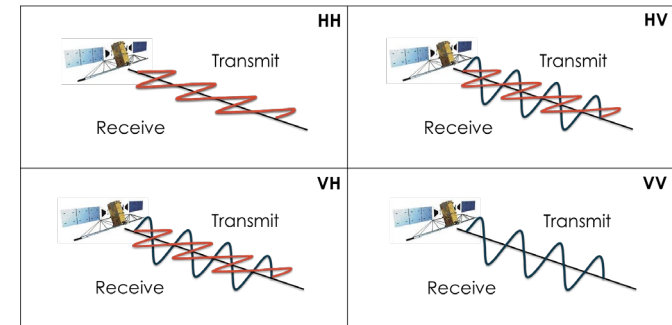
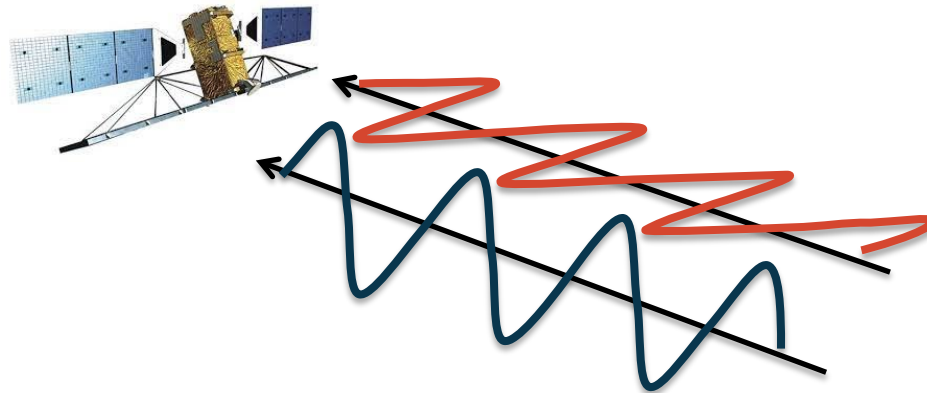


Modos de Generación de Imágenes SAR Comunes

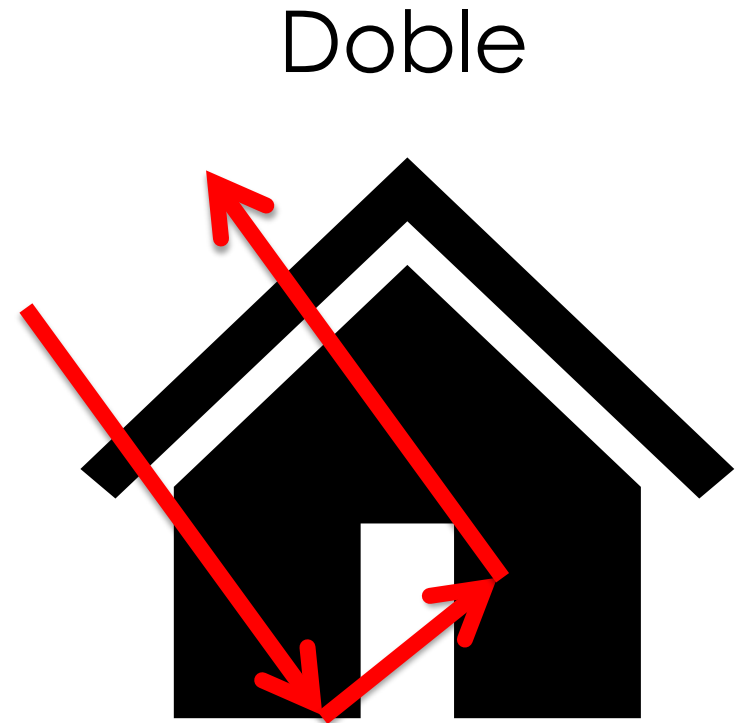
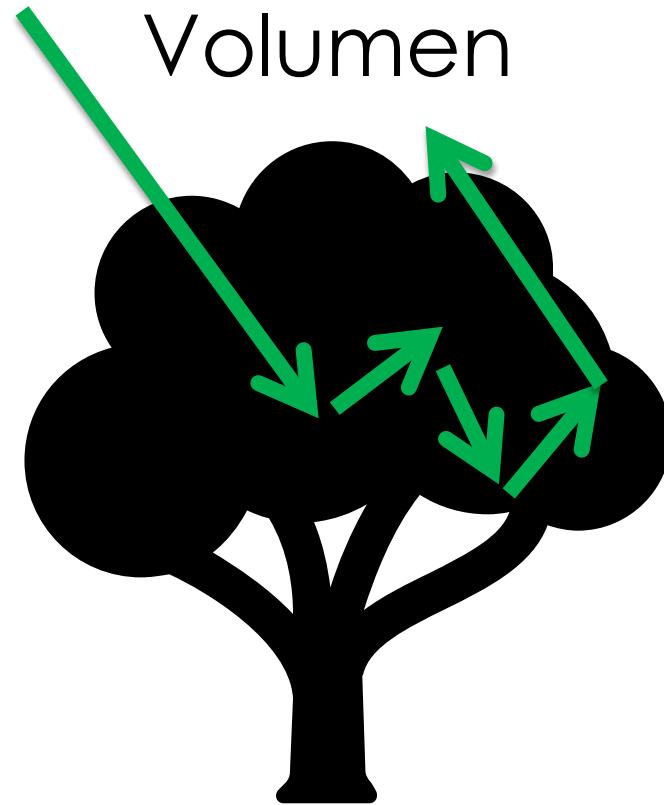
- Dos polarizaciones ortogonales al transmitir y al recibir (típicamente H y V)
- Un cambio dirige energía a las partes H y V de la antena en secuencia



- Recibe: Intensidad H y V Y su fase relativa se registran simultáneamente



Modos de Generación de Imágenes SAR Comunes



Modos de Generación de Imágenes SAR Comunes

- Pros del SAR completamente polarimétrico:
 - Características de la dispersión completas
 - Puede realizar síntesis de polarización



Modos de Generación de Imágenes SAR Comunes

- Contrastes del SAR completamente polarimétrico:
 - La frecuencia de repetición de pulsos (velocidad de datos) 2X y el consumo de energía de SAR dual-pol
 - La energía disponible y la velocidad de datos son extremadamente limitados para plataformas espaciales
 - Para mantener el consumo de energía constante, a menudo la franja es la mitad de dual-pol



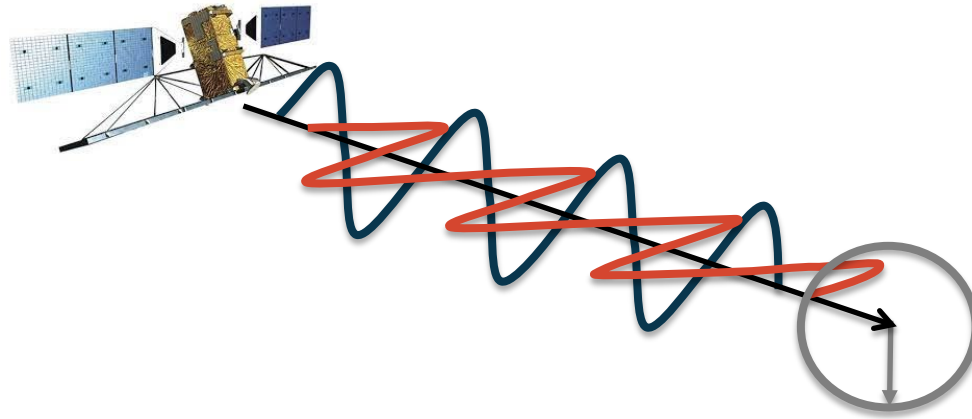
Modos de Generación de Imágenes SAR Comunes

- Compact Pol (CP)
 - Transmite una polarización; recibe dos polarizaciones ortogonales y la fase relativa
 - De preferencia Circular-Lineal o CL
 - H y V se transmiten simultáneamente y 90° fuera de fase (A la der. o izq.)
 - Retorno dual linealmente polarizado (H o V)
 - Satélites con opción de CP: ALOS-2, RISAT-1, SAOCOM, RCM, NISAR

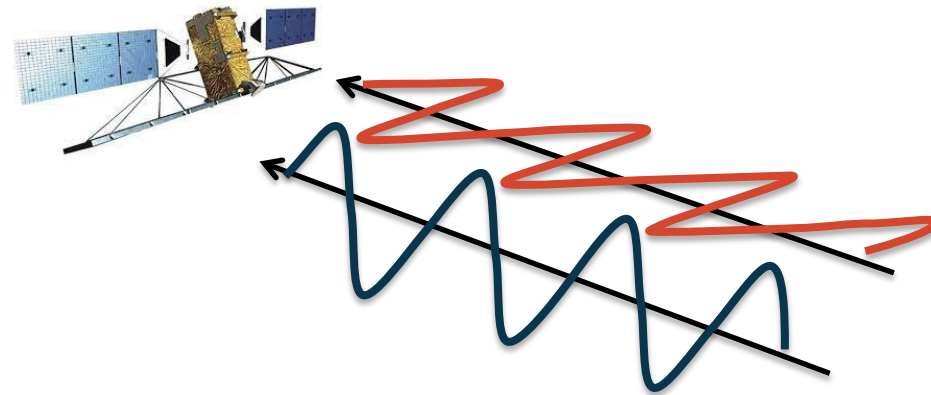


Modos de Generación de Imágenes SAR Comunes

- Transmisión circular a la derecha



- Recibe: Intensidad H y V **Y** su fase relativa se registran simultáneamente



Polarimetría

- “... la ciencia de adquirir, procesar y analizar el estado de la polarización de un campo electromagnético” – Eric Pottier



DLR-HR

- 1) Transmite: completamente polarizado
- 2) Recibe: varias ondas con una variedad de amplitudes, fases, parcialmente o completamente no polarizadas



Objetivos de Aprendizaje

- Polarimetría
 - Repaso de los vectores y las matrices
 - Vectores y matrices comúnmente utilizados
 - Descomposición



Polarimetría

- Matriz:

- Un conjunto de números

- Acomodados en m filas y n columnas

- Vector: matriz con 1 fila o 1 columna -> por defecto vectores columna

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 2 & 3 & 1 \\ 9 & 7 & 7 \\ 6 & 4 & 2 \end{bmatrix}$$

2 x 3 **2 x 1** **3 x 3**

Las **dimensiones** (filas y columnas) nos dicen el tamaño

Decimos “dos (**filas**) por tres (**columnas**)”



Polarimetría

- Matriz:

- Para la matriz **A**...

- El elemento $a_{1,2}$ está en la primera fila, segunda columna = 3

$$\begin{bmatrix} 2 & 3 & 1 \\ 9 & 7 & 7 \\ 6 & 4 & 2 \end{bmatrix}$$

- El elemento $a_{1,3}$ está en la primera fila, tercera columna = 1

- $a_{2,3}$ está en la segunda fila, tercera columna = 7



Polarimetría

- Vectores vs Matrices:

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix} \quad [18 \quad 3]$$

Vector

Lista ordenada
de números;
una fila o
columna

$$\begin{bmatrix} 2 & 3 & 1 \\ 9 & 7 & 7 \\ 6 & 4 & 2 \end{bmatrix}$$


Matriz

Conjunto de
números, una
o más
filas/columnas



Polarimetría

- Transposición de una matriz A :
 - Se refleja una matriz a lo largo de su diagonal principal (“mirroring” en inglés)
 - El superíndice T nos recuerda que ha sido transpuesta (A^T)

$$A = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix} \quad A^T = [1 \quad 2]$$




Polarimetría

- Suma y resta de matrices:
 - Para dos matrices **A** y **B**; sume/reste elementos en la misma posición
 - Las dimensiones deben ser iguales (si no son iguales = ¡indefinido!)

$$\begin{aligned} C &= A \pm B \\ &= \begin{bmatrix} 2 & 5 \\ 6 & 7 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 5 \\ 6 & 3 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 3 & 10 \\ 12 & 10 \end{bmatrix} \end{aligned}$$



Polarimetría

- Suma y Resta de Matrices:

$$\begin{aligned}C &= A - B \\&= \begin{bmatrix} 1 & 4 \\ 6 & 7 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 6 & 5 \\ 6 & 3 \end{bmatrix} \\&= \begin{bmatrix} 1 - 6 & 4 - 5 \\ 6 - 6 & 7 - 3 \end{bmatrix} \\&= \begin{bmatrix} -5 & -1 \\ 0 & 4 \end{bmatrix}\end{aligned}$$



Polarimetría

- Multiplicación de matrices:

$$= \begin{bmatrix} 1 & 4 \\ 6 & 7 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ 3 & 2 \end{bmatrix}$$

- ¡Es más complicado!
- Así como se muestra, es una construcción (¡podría haberse hecho de muchas diferentes maneras!)
- Solo funciona cuando el número de columnas de **A** = el número de filas de **B**
- ¡El orden importa! **AxB** no siempre = **BxA**

$$2 \times 2 \quad 2 \times 2$$



Polarimetría

- Multiplicación de matrices:
 - La entrada superior izquierda: producto de la primera fila con la primera columna

$$= \begin{bmatrix} 1 & 4 \\ 6 & 7 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ 3 & 2 \end{bmatrix}$$

(Note: Red boxes highlight the first row of the first matrix and the first column of the second matrix. Green arrows show the dot product of these elements.)

$$= \left[(1)(2) + (4)(3) \right]$$



Polarimetría

- Multiplicación de matrices:

- Entrada superior derecha: producto de la primera fila con la segunda columna

$$= \begin{bmatrix} 1 & 4 \\ 6 & 7 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ 3 & 2 \end{bmatrix}$$

Diagram illustrating the calculation of the element in the first row and second column of the product matrix. A green arrow points from the first row of the first matrix to the second column of the second matrix. A red box highlights the first row of the first matrix and the second column of the second matrix. The calculation is shown as:

$$= \left[\begin{array}{l} (1)(2) + (4)(3) \\ (6)(2) + (7)(3) \end{array} \right] \quad \left[\begin{array}{l} (1)(-1) + (4)(2) \\ (6)(-1) + (7)(2) \end{array} \right]$$



Polarimetría

- Multiplicación de matrices:

– Entrada inferior izquierda: producto de la segunda fila con la primera columna

$$= \begin{bmatrix} 1 & 4 \\ 6 & 7 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 2 \\ 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 \\ 2 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} (1)(2) + (4)(3) & (1)(-1) + (4)(2) \\ (6)(2) + (7)(3) & \end{bmatrix}$$



Polarimetría

- Multiplicación de matrices :

- Entrada inferior derecha: producto de la segunda fila con la segunda columna

$$= \begin{bmatrix} 1 & 4 \\ 6 & 7 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ 3 & 2 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} (1)(2) + (4)(3) & (1)(-1) + (4)(2) \\ (6)(2) + (7)(3) & (6)(-1) + (7)(2) \end{bmatrix}$$



Polarimetría

- Multiplicación de matrices:

$$= \begin{bmatrix} 1 & 4 \\ 6 & 7 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ 3 & 2 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} (1)(2) + (4)(3) & (1)(-1) + (4)(2) \\ (6)(2) + (7)(3) & (6)(-1) + (7)(2) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 14 & 7 \\ 33 & 8 \end{bmatrix}$$



Objetivos de Aprendizaje

- Polarimetría
 - Repaso de los vectores y las matrices
 - **Vectores y matrices comúnmente utilizados**
 - Descomposición



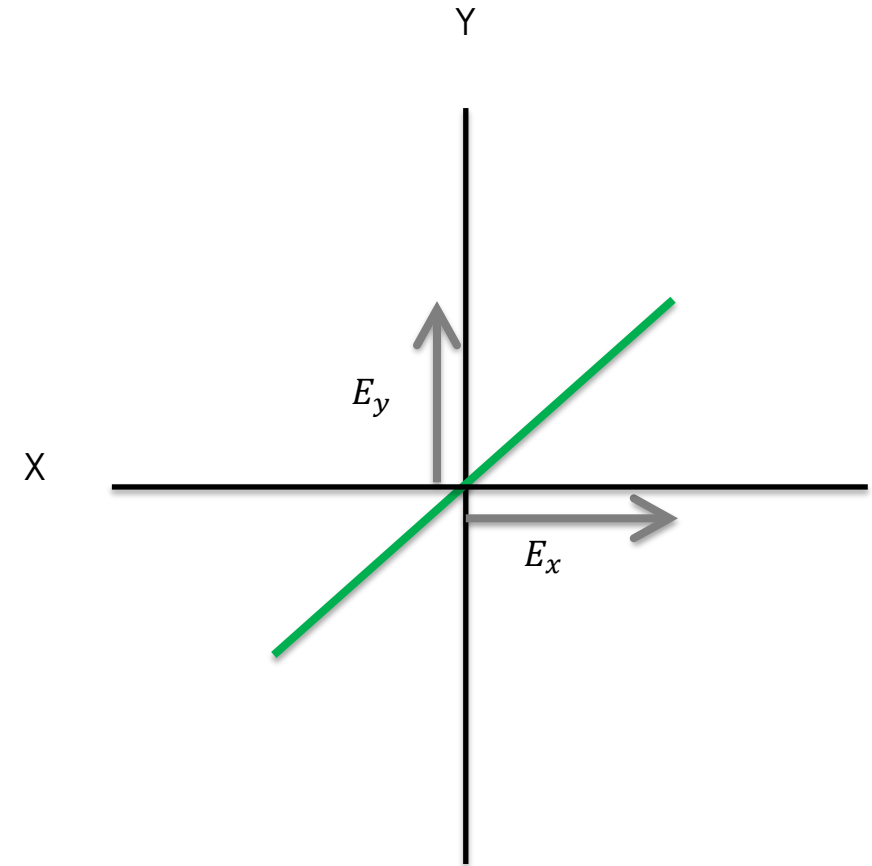
Polarimetría

- “Vector de onda” es la manera más sencilla de describir la polarización de una onda matemáticamente

$$E = \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix}$$

- Sin embargo, ¡no siempre es práctico!

Polarizada lineal a 45°



Polarimetría

- Se introdujeron los parámetros de Stokes
 - Pueden describir ondas completa y parcialmente polarizadas

- I, Q, U, V

- ...

- S_0, S_1, S_2, S_3

- ...

- S_1, S_2, S_3, S_4



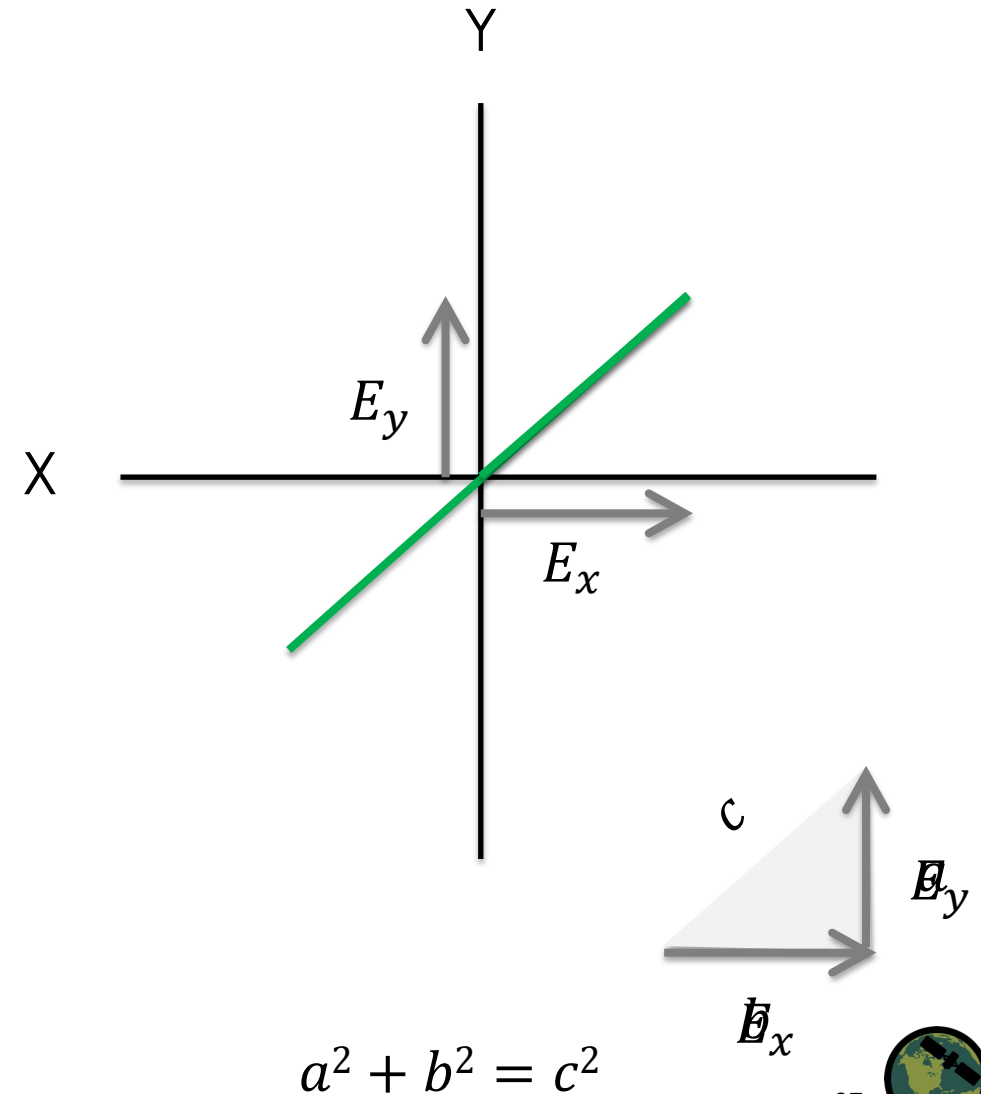
Polarimetría

- Parámetros de Stokes (I, Q, U, V)

$$I = \langle E_y^2 \rangle + \langle E_x^2 \rangle$$

- Potencia/intensidad total
- ¿Por qué amplitudes cuadradas?
¡Cantidad total de energía en la onda!
- $\langle \rangle$ significa promedio en el tiempo (necesario para ondas que son parcialmente polarizadas)
- ¡No hay información de polarización!
- Amplitud = $\sqrt{\langle E_y^2 \rangle + \langle E_x^2 \rangle}$

Polarizada lineal a 45°

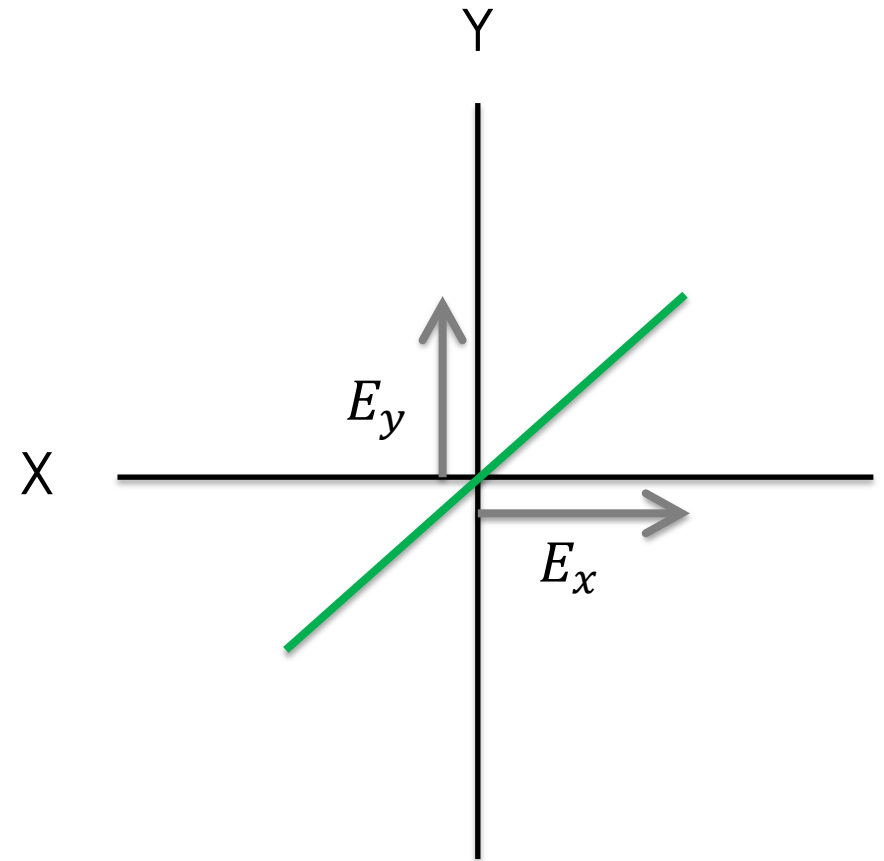


Polarimetría

- Parámetros de Stokes (I, Q, U, V)

$$Q = \langle E_y^2 \rangle - \langle E_x^2 \rangle$$

- Si queremos saber qué tan linealmente polarizada es una onda, ¡tomamos la diferencia entre los componentes H y V!
- Nos dice hasta qué punto una onda está verticalmente u horizontalmente orientada
- $Q > 0$, orientación más vertical
- $Q < 0$, orientación más horizontal

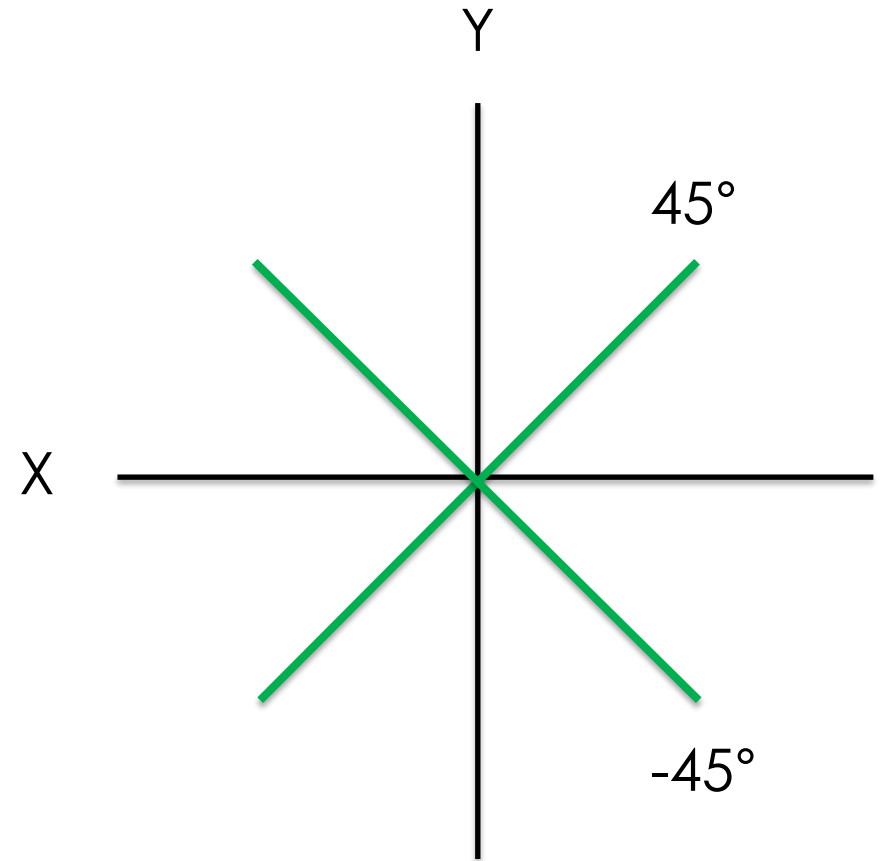


Polarimetría

- Parámetros de Stokes (I, Q, U, V)

U

- Necesitamos otro término porque con una orientación de 45° o -45° , la onda aún sería linealmente polarizada, pero Q sería 0, pero la onda aún sería polarizada
- U nos dice qué tan polarizada es una onda en 45° o -45°
- $U > 0$, más 45°
- $U < 0$, más -45°

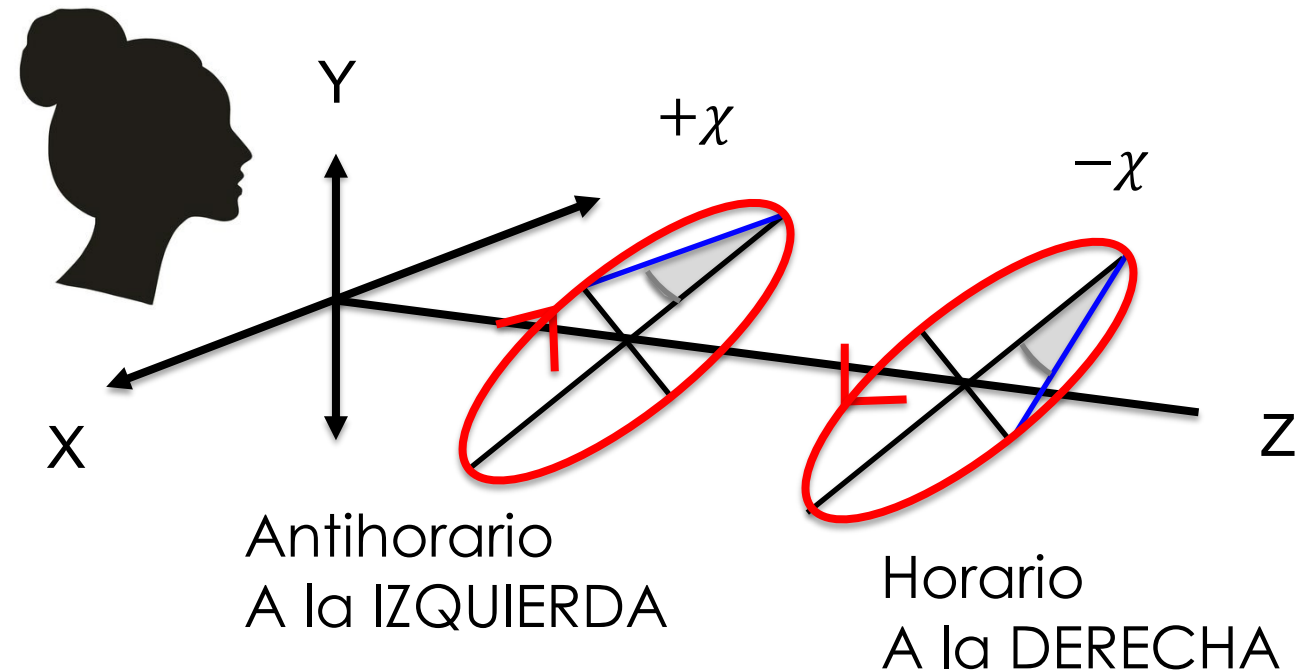


Polarimetría

- Parámetros (I, Q, U, V)

V

- Nos informa sobre la lateralidad
- $V > 0$, a la izquierda
- $V < 0$, a la derecha



Polarimetría

- $I = (\text{blue vertical line})^2 + (\text{red horizontal line})^2 \quad E_x = E_y$

- $Q = (\text{blue vertical line})^2 - (\text{red horizontal line})^2$

- $U = (\text{green diagonal line /})^2 - (\text{green diagonal line \})^2$

- $V = (\text{clockwise swirl})^2 - (\text{counter-clockwise swirl})^2$

Definen el estado de la polarización y no hay

$$E_x = E_y$$

No polarizado			
+			
0			
0			
0			



Polarimetría

- $I = (\text{blue vertical line})^2 + (\text{red horizontal line})^2$
- $Q = (\text{blue vertical line})^2 - (\text{red horizontal line})^2$
- $U = (\text{green diagonal line /})^2 - (\text{green diagonal line \})^2$
- $V = (\text{clockwise swirl})^2 - (\text{counter-clockwise swirl})^2$

No polarizado	Vertical		
+	+		
0	+		
0	0		
0	0		



Polarimetría

- $I = (\text{blue vertical line})^2 + (\text{red horizontal line})^2$
- $Q = (\text{blue vertical line})^2 - (\text{red horizontal line})^2$
- $U = (\text{green diagonal line /})^2 - (\text{green diagonal line \})^2$
- $V = (\text{clockwise swirl})^2 - (\text{counter-clockwise swirl})^2$

No polarizado	Vertical	-45	
+	+	+	
0	+	0	
0	0	-	
0	0	0	



Polarimetría

- $I = (\text{blue vertical line})^2 + (\text{red horizontal line})^2$
- $Q = (\text{blue vertical line})^2 - (\text{red horizontal line})^2$
- $U = (\text{green diagonal line /})^2 - (\text{green diagonal line \})^2$
- $V = (\text{clockwise swirl})^2 - (\text{counter-clockwise swirl})^2$

No polarizado	Vertical	-45	RHC
+	+	+	+
0	+	0	0
0	0	-	0
0	0	0	+



Polarimetría

- Los parámetros de Stokes también pueden medir el grado de polarización (m)

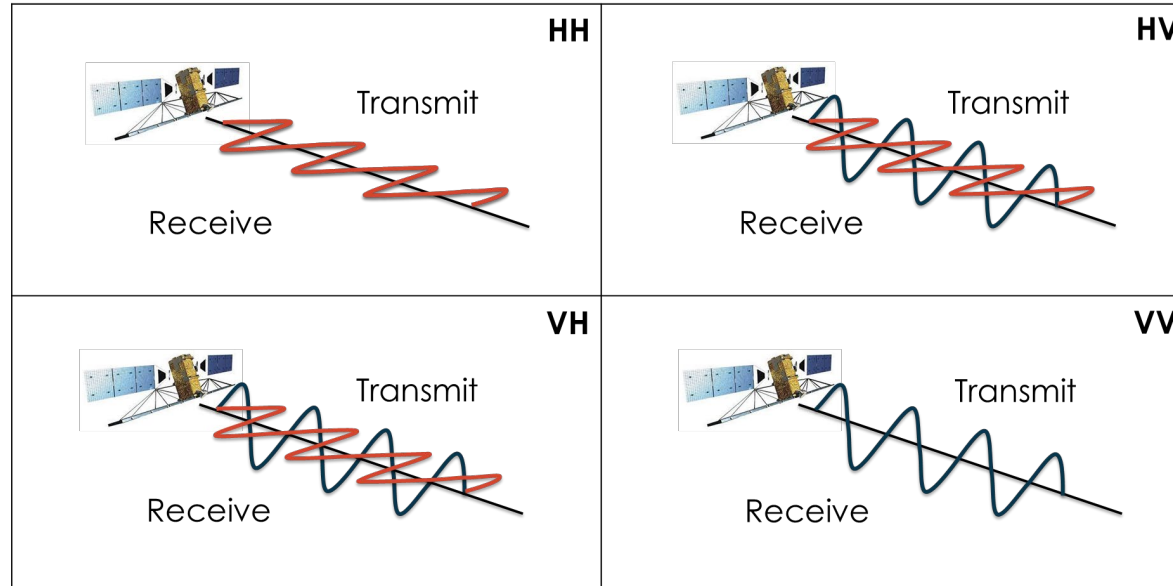
$$m = \frac{\text{potencia polarizada}}{\text{potencia total}} = \frac{\sqrt{Q^2 + U^2 + V^2}}{I}$$

- $m = 1$, completamente polarizado
- $m = 0$, completamente no polarizado



Polarimetría

- Pero, ¿qué de los datos quad pol?



- ¡Necesitamos por lo menos dos conjuntos de vectores de Stokes!



Polarimetría

- Para datos SAR completamente polarimétricos, el vector de Stokes no es el más eficiente
- **Matriz de dispersión [S]**

$$\begin{matrix} S = \text{onda} \\ \text{dispersada} \end{matrix} \quad \begin{bmatrix} E_h^S \\ E_v^S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_h^i \\ E_v^i \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} i = \text{onda} \\ \text{incidente} \end{matrix}$$

- El primer subíndice de S_{pq} es lo que se transmite; el segundo es la polarización del retorno



Polarimetría

- Para datos SAR completamente polarimétricos, el vector de Stokes no es el más eficiente
- **Matriz de dispersión [S]**

$$\begin{matrix} S = \text{onda} \\ \text{dispersada} \end{matrix} \quad \begin{bmatrix} E_h^S \\ E_v^S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_h^i \\ E_v^i \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} i = \text{onda} \\ \text{incidente} \end{matrix}$$

- El primer subíndice de S_{pq} es lo que se transmite; el segundo es la polarización del retorno

p y q pueden ser cualquier par de polarizaciones, ¡siempre y cuando sean ortogonales!



Polarimetría

- **Matriz de Dispersión** [S]

$$\begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{bmatrix}$$

- 4 números complejos
- Co-pol: HH & VV
- Polarización cruzada: HV & VH



Polarimetría

- **Matriz de Dispersión [S]**

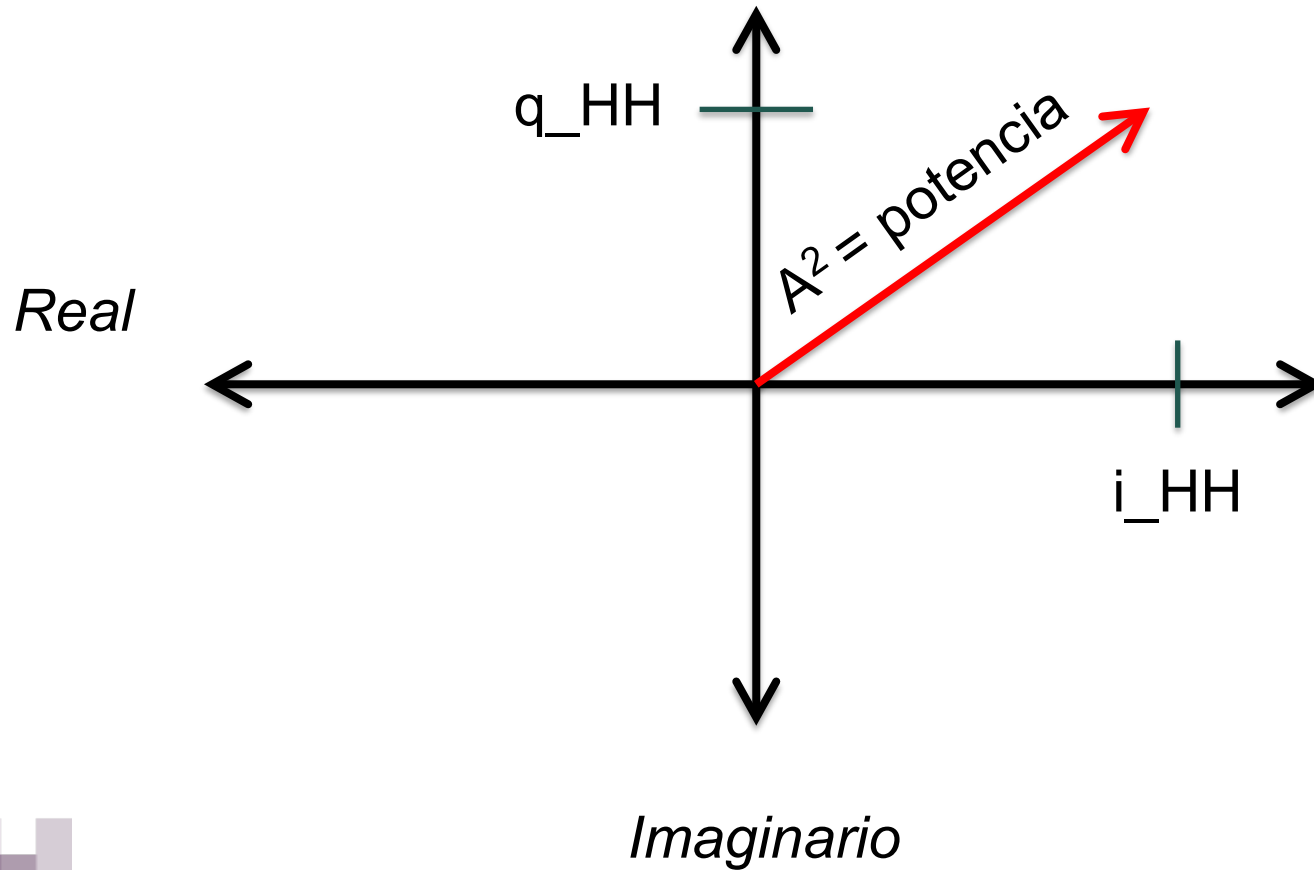
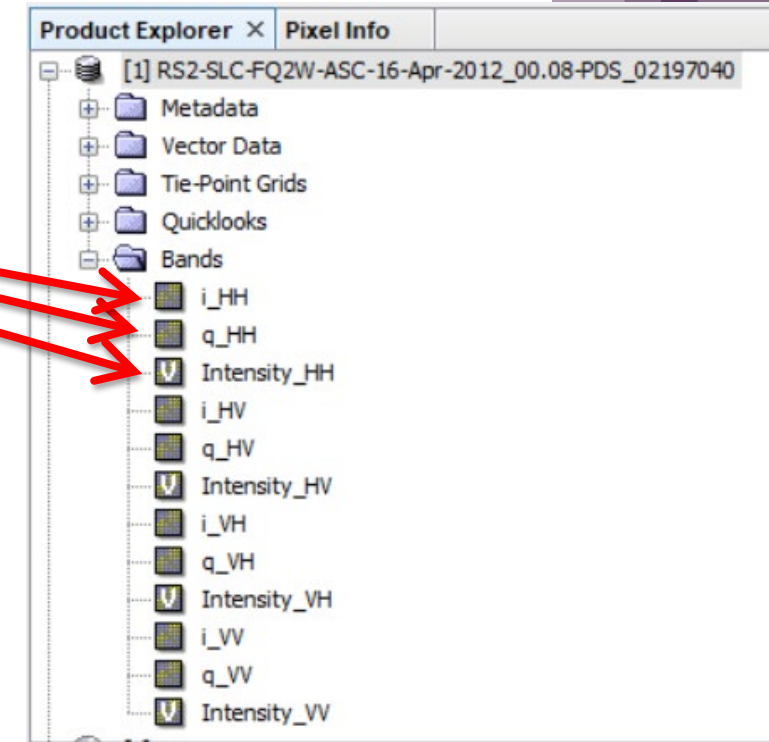
$$\begin{bmatrix} E_h^s \\ E_v^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_h^i \\ E_v^i \end{bmatrix}$$

- Describe la transformación de la onda incidente en una onda retrodispersada



Polarimetría

$$\begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{bmatrix}$$



Polarimetría

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{bmatrix}$$

- Para la mayoría de las características naturales, hay solo 3 parámetros independientes
- $S_{hv} = S_{vh}$ son recíprocos (el proceso es el mismo incluso al revés)
- Normalmente HV representa $= \frac{1}{2} (S_{hv} + S_{vh})$ – ¡excelente porque promedia el ruido!
- Potencia Total (potencia total retrodispersada de vuelta hacia la antena)

$$\begin{aligned} \text{Potencia Total o SPAN} &= |S_{hh}|^2 + |S_{hv}|^2 + |S_{vh}|^2 + |S_{vv}|^2 \\ &= |S_{hh}|^2 + 2|S_{hv}|^2 + |S_{vv}|^2 \end{aligned}$$



Polarimetría

1) Forward Scatter Alignment¹ (FSA)

- Z positivo siempre apunta en la dirección de desplazamiento

2) Back Scatter Alignment² (BSA)

- Z positivo siempre apunta hacia el objetivo

Conclusión: BSA es más comúnmente utilizado. La matriz de dispersión toma diferentes formas dependiendo del convenio.

1- Alineado con la dispersión hacia adelante

2- Alineado con la retrodispersión (hacia atrás)



Polarimetría

- Vector objetivo (Base Lineal)
 - $[S]$ tiene tres parámetros independientes
 - También puede definir un vector en vez de una matriz
 - Para coordenadas lineales utilizamos:

Estos son
números
complejos

$$k = [S_{HH} + S_{HV} + S_{VV}]^T$$

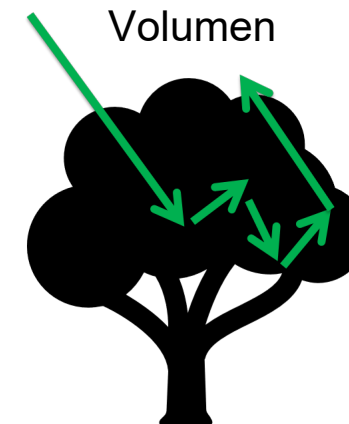
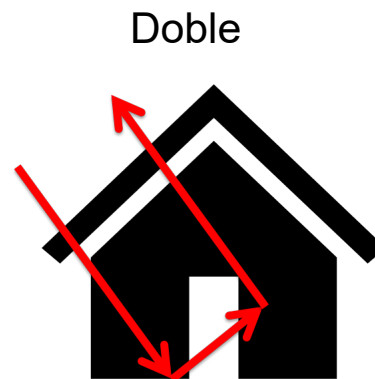
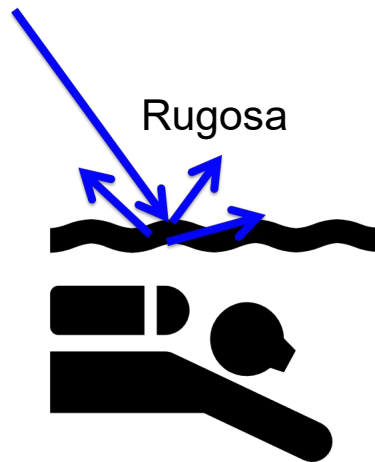
Simplemente
nos recuerda
que ha sido
traspuesto



Polarimetría

- Vector objetivo (Base Pauli)
 - Suma y diferencia de polarización cruzada, dos veces cruzada
 - $\frac{1}{\sqrt{2}}$ para normalizar el resultado

$$k_P = \frac{1}{\sqrt{2}} [S_{hh} + S_{vv} \quad S_{hh} - S_{vv} \quad 2S_{hv}]^T$$



Polarimetría

- Otras matrices definidas a partir de vectores objetivo
- Descriptores de segunda orden de $[S]$
- Interrelación estadística
- Promediación
 - Base lineal (k) para matriz de covarianza $[C]$
 - Base Pauli (k_P) par matriz de coherencia $[T]$



Polarimetría

- Matriz de Covarianza [C]
 - Multiplicar k por su traspuesto conjugado
 - Para canales polarimétricos, caracteriza su grado de similitud

$$C = k \cdot k^{*T} = \begin{bmatrix} S_{HH} \\ \sqrt{2}S_{HV} \\ S_{VV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{HH}^* & \sqrt{2}S_{HV}^* & S_{VV}^* \end{bmatrix}$$
$$= \left\langle \begin{bmatrix} |S_{HH}|^2 & \sqrt{2}S_{HH}S_{HV}^* & S_{HH}S_{VV}^* \\ \sqrt{2}S_{HV}S_{HH}^* & 2|S_{HV}|^2 & \sqrt{2}S_{HV}S_{VV}^* \\ S_{VV}S_{HH}^* & \sqrt{2}S_{VV}S_{HV}^* & |S_{VV}|^2 \end{bmatrix} \right\rangle$$

< > corchetes
indican
promediación



Polarimetría

- Matriz de Covarianza [C]
 - 9 elementos
 - 3 reales: intensidades (diagonales)
 - 6 complejos: grado de similitud entre canales polarimétricos

$$C = k \cdot k^{*T} = \begin{bmatrix} S_{HH} \\ \sqrt{2}S_{HV} \\ S_{VV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{HH}^* & \sqrt{2}S_{HV}^* & S_{VV}^* \end{bmatrix}$$
$$= \left\langle \begin{bmatrix} |S_{HH}|^2 & \sqrt{2}S_{HH}S_{HV}^* & S_{HH}S_{VV}^* \\ \sqrt{2}S_{HV}S_{HH}^* & 2|S_{HV}|^2 & \sqrt{2}S_{HV}S_{VV}^* \\ S_{VV}S_{HH}^* & \sqrt{2}S_{VV}S_{HV}^* & |S_{VV}|^2 \end{bmatrix} \right\rangle$$

... La potencia total es la suma de 3 elementos diagonales

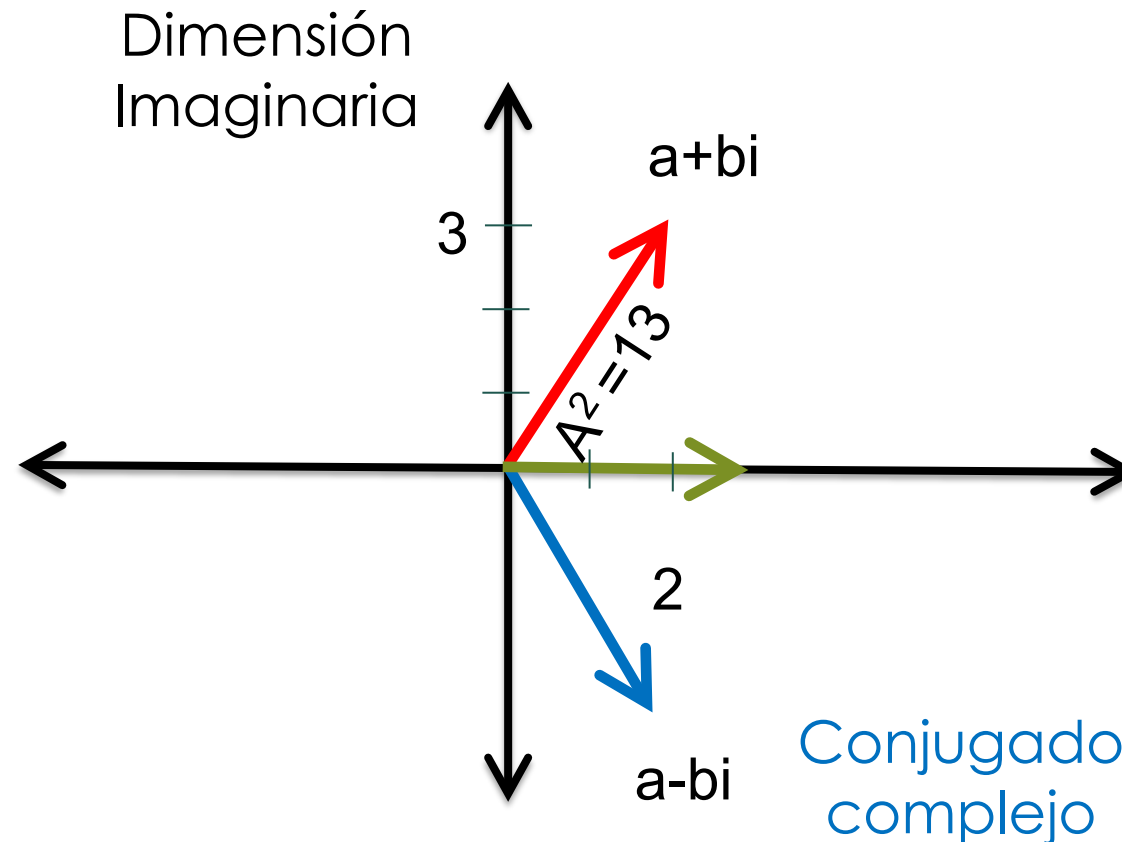


Polarimetría

- Cómo obtenemos valores de potencia a lo largo de la diagonal:

$$C = k \cdot k^{*T} = \begin{bmatrix} S_{HH} & & \\ \sqrt{2}S_{HV} & S_{HH}^* & \sqrt{2}S_{HV}^* & S_{VV}^* \\ S_{VV} & & & \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} |S_{HH}|^2 & \sqrt{2}S_{HH}S_{HV}^* & S_{HH}S_{VV}^* \\ \sqrt{2}S_{HV}S_{HH}^* & 2|S_{HV}|^2 & \sqrt{2}S_{HV}S_{VV}^* \\ S_{VV}S_{HH}^* & \sqrt{2}S_{VV}S_{HV}^* & |S_{VV}|^2 \end{bmatrix}$$



$$(a+bi)(a-bi)$$

$$(2+3i)(2-3i)$$

$$=4-6i+6i-9i^2$$

$$(i^2=-1)$$

$$=4-6i-6i-9(-1)$$

$$=4+9$$

$$=13$$

$$=A^2$$

$$=|S_{hh}|^2$$



Polarimetría

- Matriz de Covarianza [\mathbf{C}]
 - C_{12} & C_{21} : cerca de cero para objetivos naturales (p.ej. humedales)
 - C_{12} & C_{21} : tienen información algo útil en áreas urbanas/áreas antrópicas
 - C_{13} : diferencia de fase entre HH y VV (se usa para distinguir entre rebote impar (0°) y rebote par (180°))

$$= \left\langle \begin{bmatrix} |S_{HH}|^2 & \sqrt{2}S_{HH}S_{HV}^* & S_{HH}S_{VV}^* \\ \sqrt{2}S_{HV}S_{HH}^* & 2|S_{HV}|^2 & \sqrt{2}S_{HV}S_{VV}^* \\ S_{VV}S_{HH}^* & \sqrt{2}S_{VV}S_{HV}^* & |S_{VV}|^2 \end{bmatrix} \right\rangle$$



Polarimetría

- Matriz de Coherencia [T]
 - Multiplicar k_p por su traspuesto conjugado
 - Para canales polarimétricos, caracteriza su grado de similitud



Polarimetría

- ¿ $|C|$ y $|T|$ son equivalentes?
 - Puede transformar uno en el otro
 - La misma información sobre: correlaciones, ángulos de fase, amplitudes
 - $|T|$ ofrece una mejor interpretación física, los elementos están más relacionados con el proceso de dispersión geométrica y física



Polarimetría



Matrices para Datos Complejos	Número de Canales
s4c: matriz de dispersión no simetrizada (solo single-look)	4
S3c: matriz de dispersión simetrizada	3
s2c: matriz de dispersión incompleta (solo dual-pol single-look)	2
s1c: matriz de dispersión incompleta (solo single-pol single-look)	1
c4r6c: matriz de covarianza no simetrizada (mejor para multi-look)	10
C3r3c: matriz de covarianza simetrizada	6
c2r1c: matriz de covarianza incompleta (mejor para dual-pol multi-look)	3
t4r6c: matriz de coherencia no simetrizada (mejor para multi-look)	10
T3r3c: matriz de coherencia simetrizada	6
k16r: matriz de Kennaugh no simetrizada (mejor para multi-look)	16
K9r: matriz de Kennaugh simetrizada	9



Polarimetría

- ¿Qué hay de los datos dual pol coherentes?
- Se puede construir una matriz de covarianza 2x2
- Co-pol o polarización cruzada

$$\begin{aligned} C &= k \cdot k^{*T} = \begin{bmatrix} S_{HH} \\ S_{VV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{HH}^* & S_{VV}^* \end{bmatrix} \\ &= \left\langle \begin{bmatrix} |S_{HH}|^2 & S_{HH}S_{VV}^* \\ S_{VV}S_{HH}^* & |S_{VV}|^2 \end{bmatrix} \right\rangle \end{aligned}$$



Objetivos de Aprendizaje

- Polarimetría
 - Repaso de los vectores y las matrices
 - Vectores y matrices comúnmente utilizados
 - **Descomposición**



Polarimetría

- Descomposición polarimétrica
 - Describe las propiedades de dispersión.
 - Divide la potencia total en contribuciones relativas de diferentes dispersores idealizados
 - ¡Facilita la interpretación!!
- Métodos
 - Coherente (objetivos no naturales)
 - Incoherente (objetivos naturales)



Polarimetría

- Descomposición Coherente
 - Es difícil interpretar la matriz de dispersión **[S]** directamente
 - Expresa **[S]** como la combinación de respuestas de objetos más simples (canónicos)
 - Objetivos coherentes/puntuales/puros: la fase es conocida y predecible
 - P. ej., áreas urbanas



Polarimetría

- Descomposición Incoherente
 - Speckle (moteado) → hay que caracterizar algunos objetivos estadísticamente → **[C]** y **[T]**
 - Es difícil interpretar la matriz de dispersión **[C]** y **[T]** directamente
 - Objetivos incoherentes
 - P.ej., áreas boscosas



Polarimetría

[S]

Descomposición
Coherente

W. Pauli (1900-1959)

E. Krogager (1990)

W. L. Cameron (1990)

[T]

Descomposición Eigen

S. R. Cloude (1985)

W. A. Holm (1988)

Análisis de Eigenvectores/Eigenvalores

S. R. Cloude & E. Pottier
(1996-1997)

[C]

Descomposición
Basada en Modelos

A. Freeman (1992)

Descomposición
basada en Eigen/
modelos

J. J. Van Zyl (1992)



Polarimetría

- Descomposición Cloude-Pottier
 - Descomposición de **[T]** basada en Eigenvectores Eigenvalores
 - De esto obtenemos tres parámetros secundarios

1) Entropía (H)

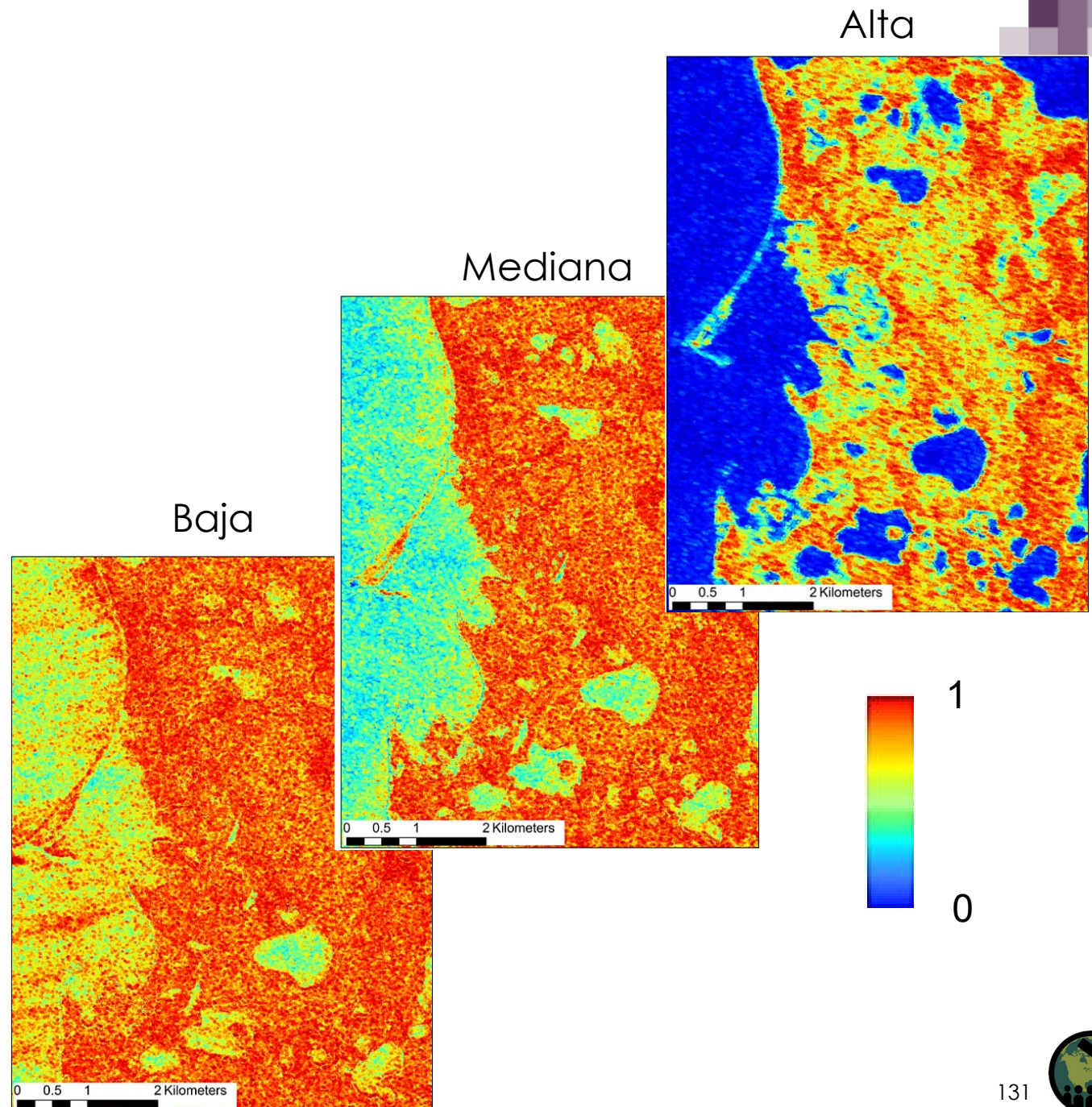
2) Anisotropía (A)

3) Ángulo Alfa Medio (α)



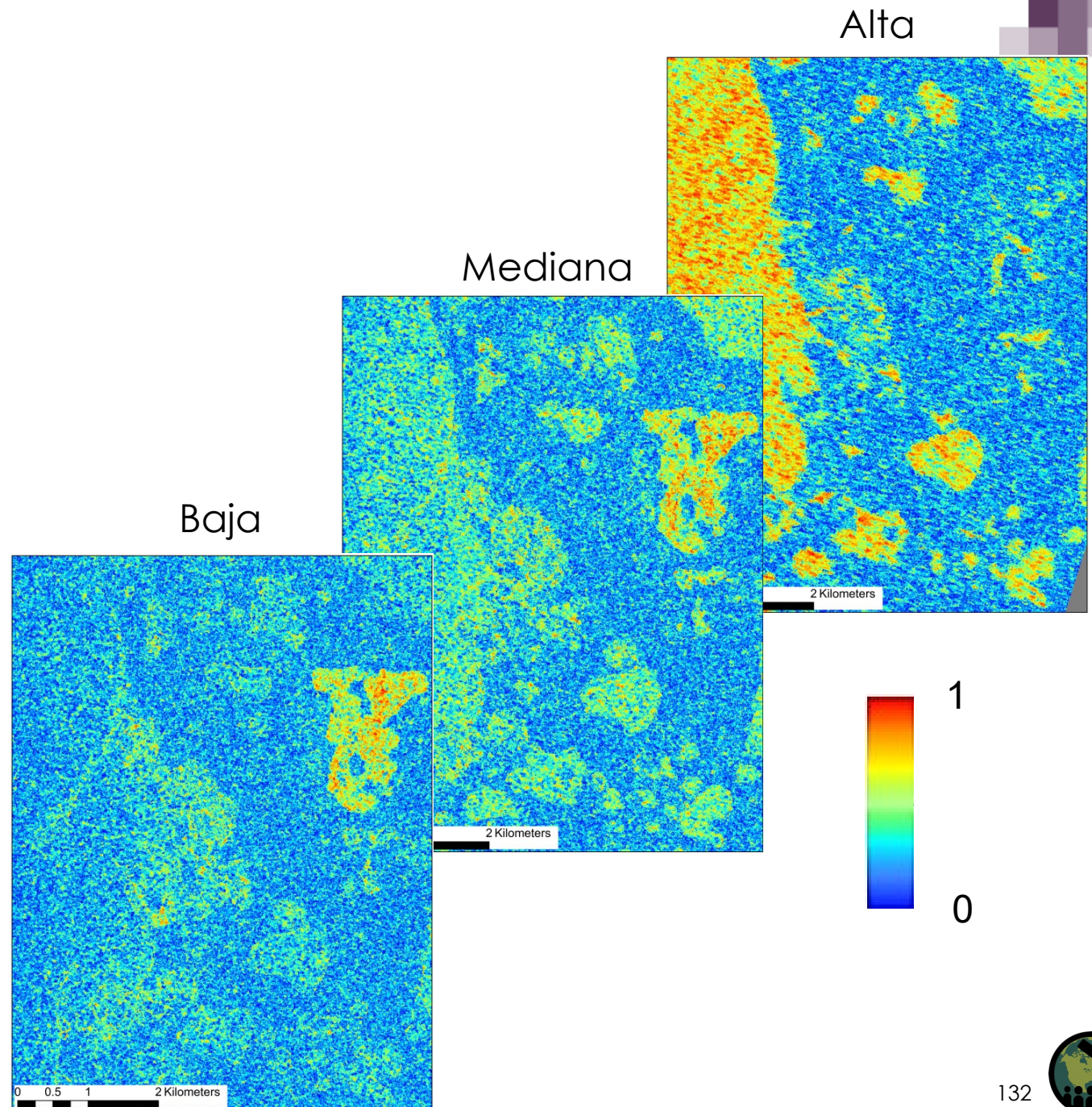
Polarimetría

- Entropía (H)
 - Grado de aleatoriedad
 - $H = 1 \rightarrow$ objetivo distribuido
 - $H = 0 \rightarrow$ objetivo puro, un mecanismo de dispersión
 - Cuando $H > 0,7$ es difícil discriminar; La anisotropía complementa el valor



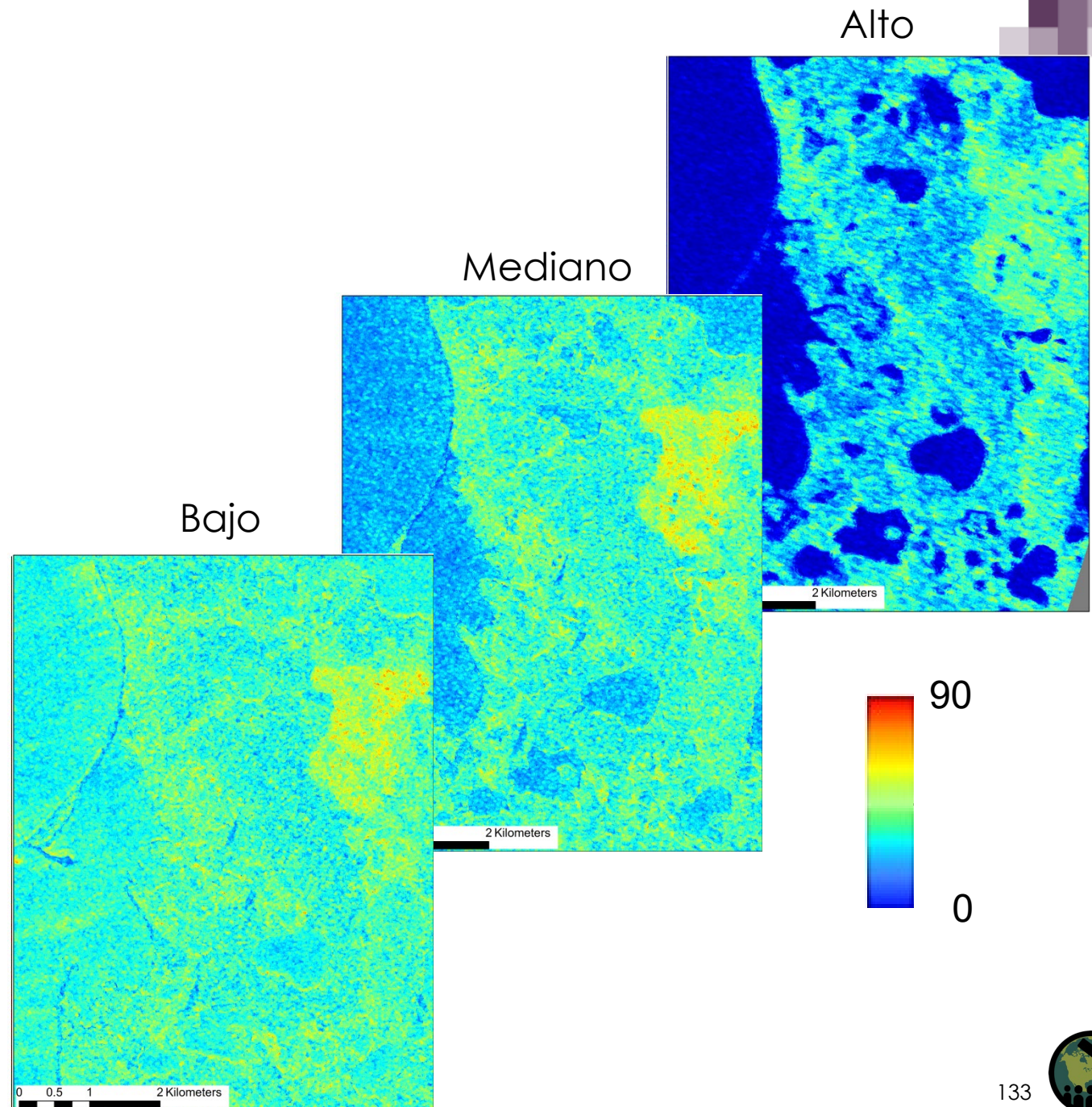
Polarimetría

- Anisotropía (A)
 - Importancia relativa entre segundo y tercer mecanismo
 - $A > 0$
 - Baja: el tercer mecanismo contribuye significativamente a la potencia
 - Alta: solo el segundo mecanismo contribuye significativamente a la potencia total
 - $A = 0$ contribuciones del segundo y tercer mecanismo son iguales



Polarimetría

- Ángulo alfa medio (α)
 - Puede servir para determinar el mecanismo de dispersión dominante
 - 0-90°
 - Bajo (0-45°): superficie
 - Intermedio (~45°): volumen
 - Alto (>45°): rebote



Recursos Adicionales

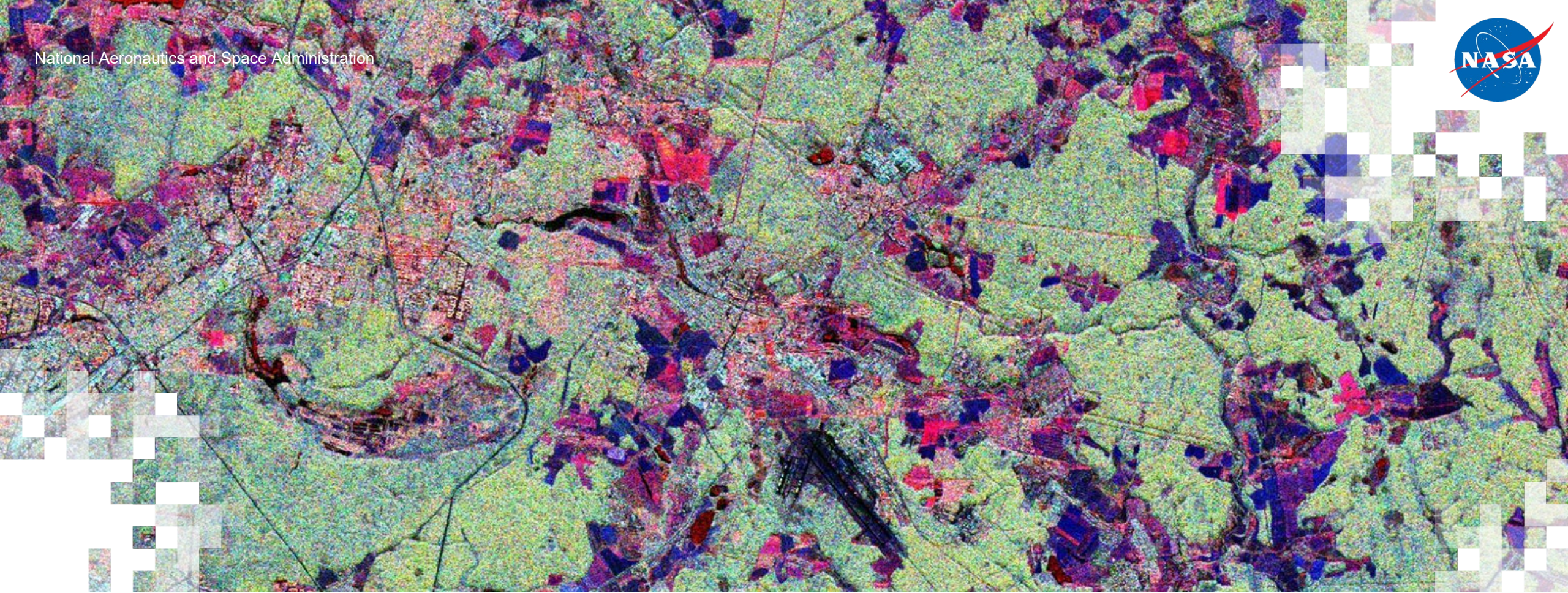
- Polarisation: Applications in Remote Sensing Shane R. CLOUDE Oxford University Press, October 2009, pp 352 ISBN: 978-0199569731
- Polarimetric Radar Imaging: From basics to applications Jong-Sen LEE – Eric POTTIER CRC Press; 1st ed., February 2009, pp 422 ISBN: 978-1420054972
- Polarisation: Applications in Remote Sensing Shane R. CLOUDE Oxford University Press, October 2009, pp 352 ISBN: 978-0199569731
- Polarimetric Radar Imaging: From basics to applications Jong-Sen LEE – Eric POTTIER CRC Press; 1st ed., February 2009, pp 422 ISBN: 978-1420054972



Referencias

- Introduction to Microwave Remote Sensing. I. WOODHOUSE CRC Press, 2006, ISBN: 0-415-27123-1
- Dr. Mehdi Hosseini
- https://earth.esa.int/documents/653194/656796/Polarimetric_Decompositions.pdf
- http://seom.esa.int/polarimetrycourse2017/files/materials/PolSAR_theory_EPottier.pdf
- http://step.esa.int/docs/tutorials/S1TBX%20Polarimetry%20with%20Radarsat-2%20Tutorial_v2.pdf





Práctica de Polarimetría 1^{ra} Parte: Parámetros Derivados de Intensidad

Parámetros Derivados de la Intensidad

- Potencia total (Span)
- Índice de vegetación de radar
 - Índice de degradación forestal de radar
 - Índice de biomasa
 - Índice de estructura del dosel
- Relaciones Co-Pol y de Polarización Cruzada (HH/VV, HH/HV, VV/VH)
 - Integra la retrodispersión de diferentes polarizaciones en un valor.
 - Al igual que los índices ópticos, mitiga el error del sistema y el ruido.
 - Suponiendo que el error de calibración sea el mismo para todas las polarizaciones, una Relación o Índice puede mitigar algún error Y puede mitigar algunos de los impactos con cambios en los ángulos de incidencia (entre imágenes)
 - Por lo general, requiere datos totalmente polarimétricos (como RCM, SAOCOM, etc.), pero se están generando índices y relaciones más nuevos con datos de Sentinel-1 SLC



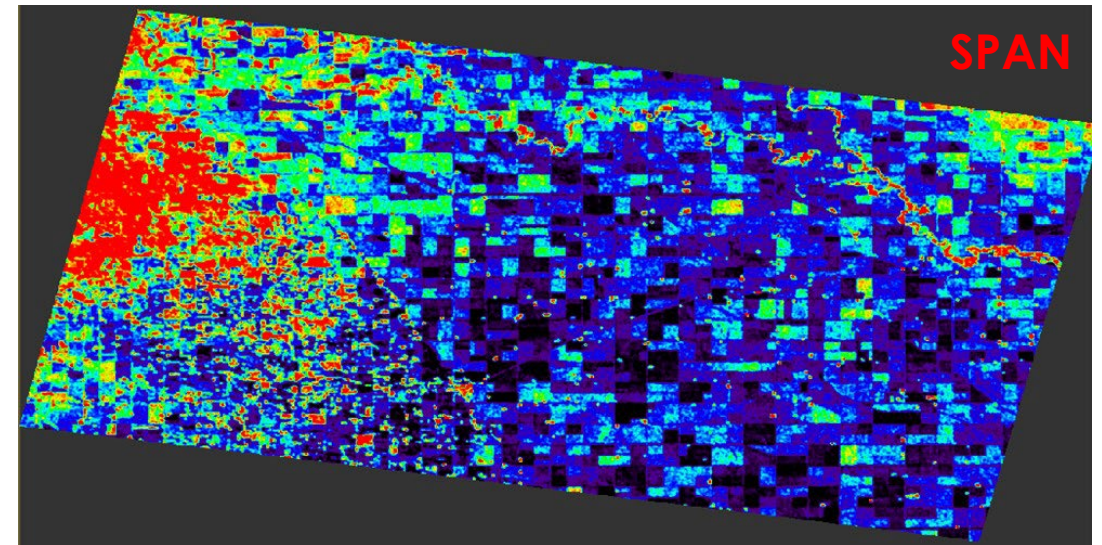
Span

Intensidad Total (Span)

- Una cantidad que da la potencia total (intensidad) recibida por los cuatro canales de un sistema de radar totalmente polarimétrico.
- En términos de la matriz de dispersión, la potencia total es igual a la suma de todos los elementos de la matriz.

$$Span = HH + 2HV + VV$$

- Span bajo en campos agrícolas desnudos debido a la reflexión casi especular de las ondas SAR
- Span alto en áreas mixtas de bosques y arbustos debido al alto retorno de radar relacionado con la dispersión de volumen



Índice de Vegetación de Radar y Otros Índices

- El Índice de Vegetación de Radar (Radar Vegetation Index o RVI) se utiliza para estimar la condición de la vegetación, similar al NDVI
- La retrodispersión HV es altamente impactada por la vegetación
- 8 es un factor de escala (ya que los valores HV son menores en comparación con los HH y VV)

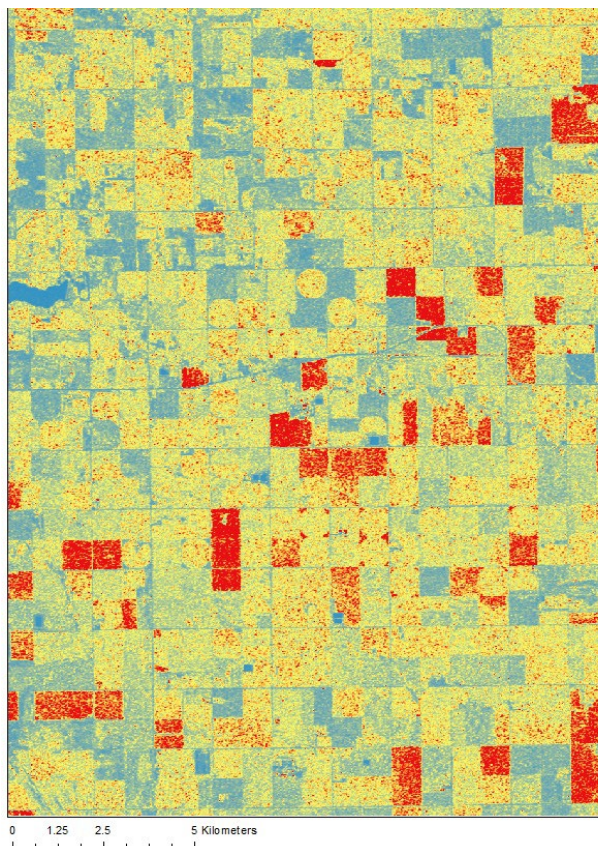
$$RVI = \frac{8\sigma_{hv}}{\sigma_{hh} + \sigma_{vv} + 2\sigma_{hv}}$$

- Otros índices disponibles en SNAP:
 - Radar Forest Degradation Index (Índice de Degradación Forestal)
 - Biomass Index (Índice de Biomasa)
 - Canopy Structure Index (Índice Estructural del Dosel)
- Cuando utilice estos, intente entender la física detrás de cada uno y si es que serán útiles para su aplicación o no.

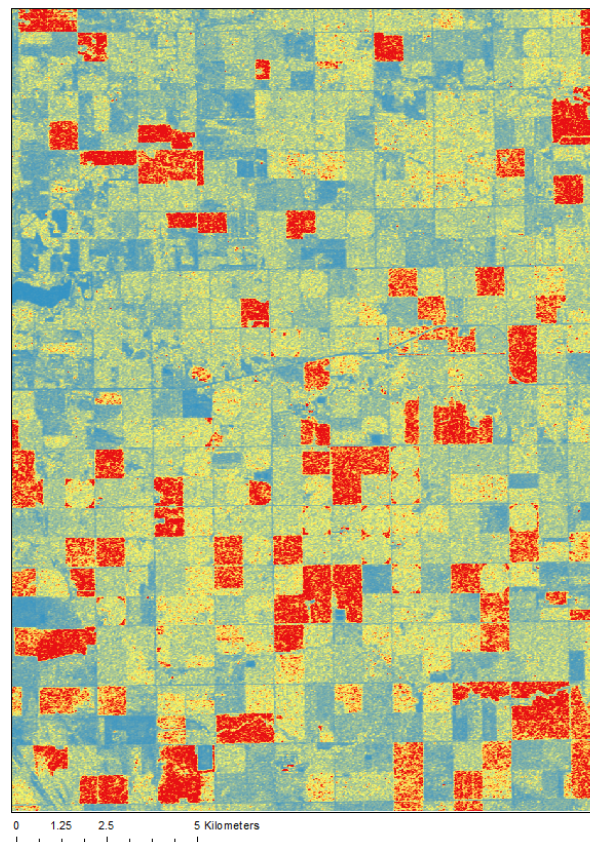


RVI- Temporal

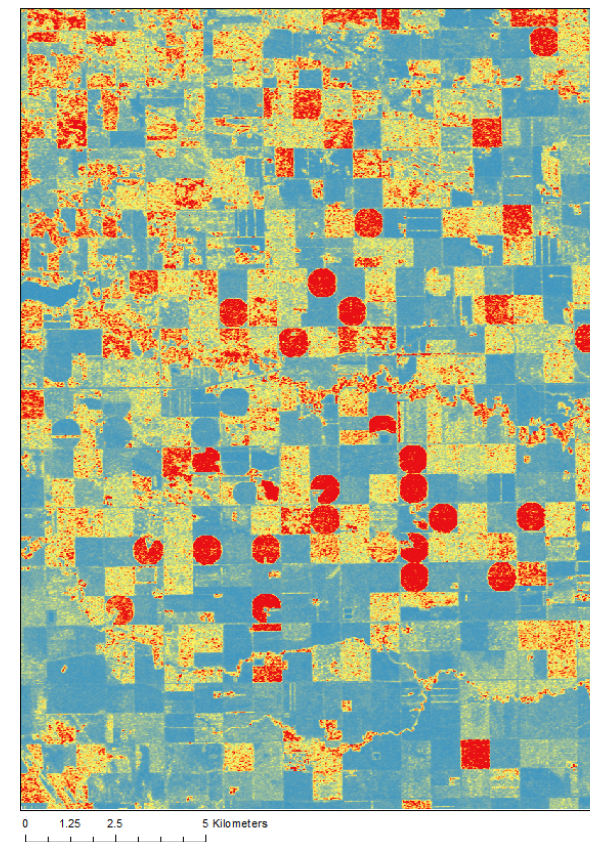
Carman, Manitoba, Canada



19 de julio de 2020

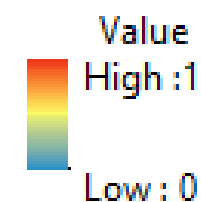


16 de agosto de 2020



17 de septiembre de 2020

Los valores del RVI disminuyen a medida que se acerca al final de la temporada de crecimiento.



Relaciones de Intensidad: Relaciones Co-Pol, Pol. Cruzada

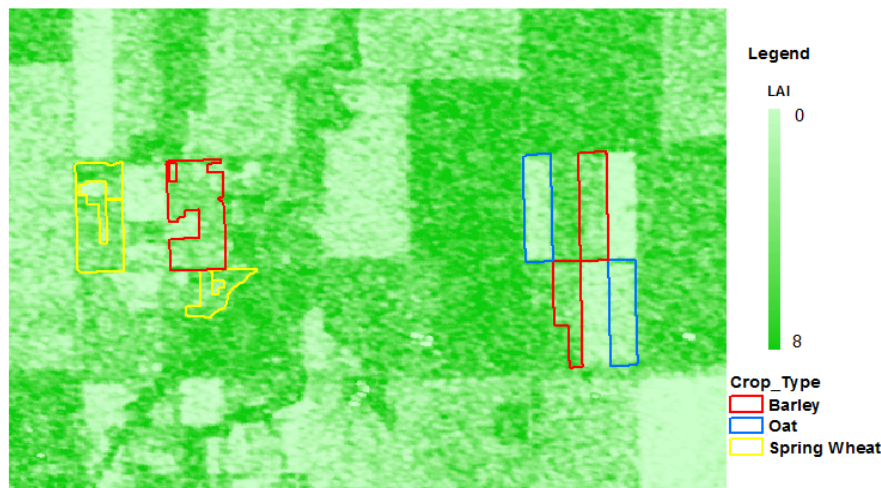
- Integran retrodispersión de diferentes polarizaciones en un solo valor
- Se han encontrado correlaciones con relaciones simples y LAI, Biomasa, etc.

$$\text{Relación pol. cruzada} = HH/HV$$

$$\text{Relación pol. cruzada} = VV/VH$$

$$\text{Relación co - pol} = HH/VV$$

RS2 derived LAI map on June 24th



Correlaciones entre Parámetros de SAR y LAI

Parámetro SAR	Trigo	Avena	Cebada
Rel. HV/HH	-0.78	-0.73	-0.75
Rel. HV/VV	0.84	0.71	0.80
Rel. HH/VV	0.69	0.75	0.80

Coefficientes de Correlación (R)



Generación de Parámetros Polarimétricos en SNAP

Conversión Radiométrica



PARÁMETROS POLARIMÉTRICOS



Filtrado de Speckle



Corrección Geométrica



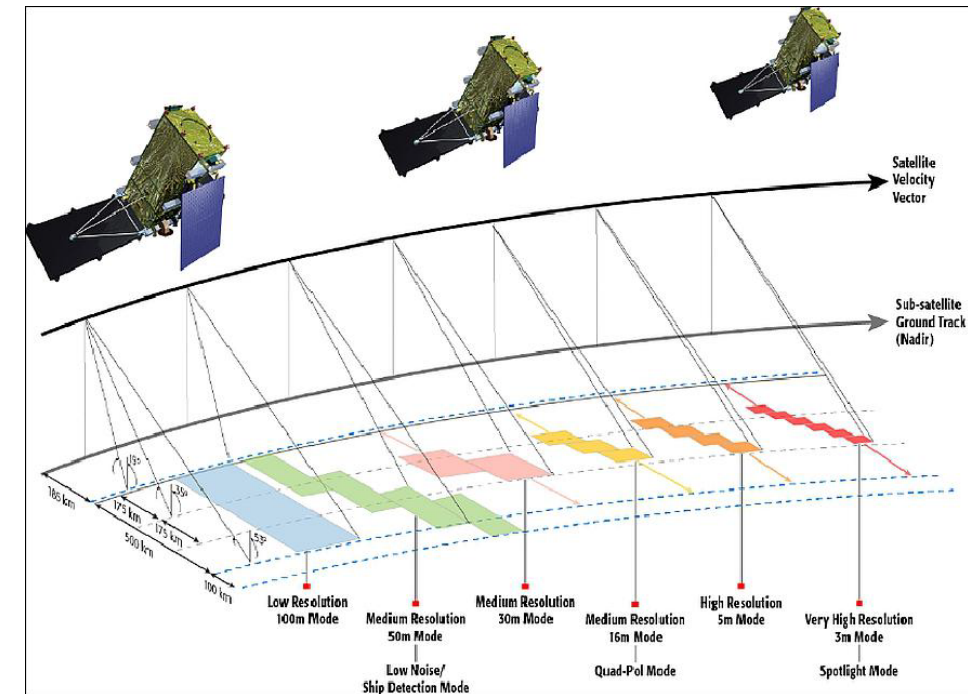
Parámetros
Polarimétricos Finales



Imágenes RCM Completamente Polarimétricas

Producto SLC (Single Look Complex) de alcance inclinado (slant range)

- Cada píxel de la imagen está representado por un valor de magnitud complejo (I real y Q imaginario).
- No se realiza ninguna interpolación en las coordenadas del rango del suelo durante el procesamiento de los productos de imágenes SLC, y la coordenada del rango se proporciona en el rango inclinado del radar en lugar del rango en el suelo (es decir, la resolución del rango se mide a lo largo de una trayectoria inclinada perpendicular a la trayectoria del sensor).
- El procesamiento de todos los productos SLC cubre una sola mirada en las direcciones de rango y azimut.



Modos de haces RCM SAR – Tiempo de Revisita: 4 días

Modo	Res. m	Miradas rng × az	Ancho franja (accesible) km	NESZ Nominal (dB)	Opciones de Polarización
					HH+VV+ HV+VH
Quad-Pol	9	1	20 (250)	-24	Sí



Imágenes RCM Completamente Polarimétricas

Producto de Rango Inclinado SLC (Single Look Complex)

The screenshot displays the EODMS website interface. At the top, there is a search bar and navigation links for the Government of Canada. The main content area is divided into sections: Start, Data, Account, and Trending. The Data section includes a search bar and links to various data products. The Account section includes links for registration and login. The Trending section includes links to REST_OGC API, RADARSAT-1 COGs on AWS, RCM Vetted Access, Aerial Photo Prices, Quick Start Guide, and Data Services 101. The main content area features a map of Canada with a pink rectangle highlighting a specific area in the Prairie Provinces. The map is titled "Earth Observation Data Management System" and includes a search bar and a list of data collections. The list includes "All Collections", "Aerial Photo", "Radar Satellites", and "RCM Image Products [Online]". The "RCM Image Products [Online]" section is highlighted, indicating it is the selected product. The map shows a pink rectangle highlighting a specific area in the Prairie Provinces, likely the area of interest for the RCM image products.



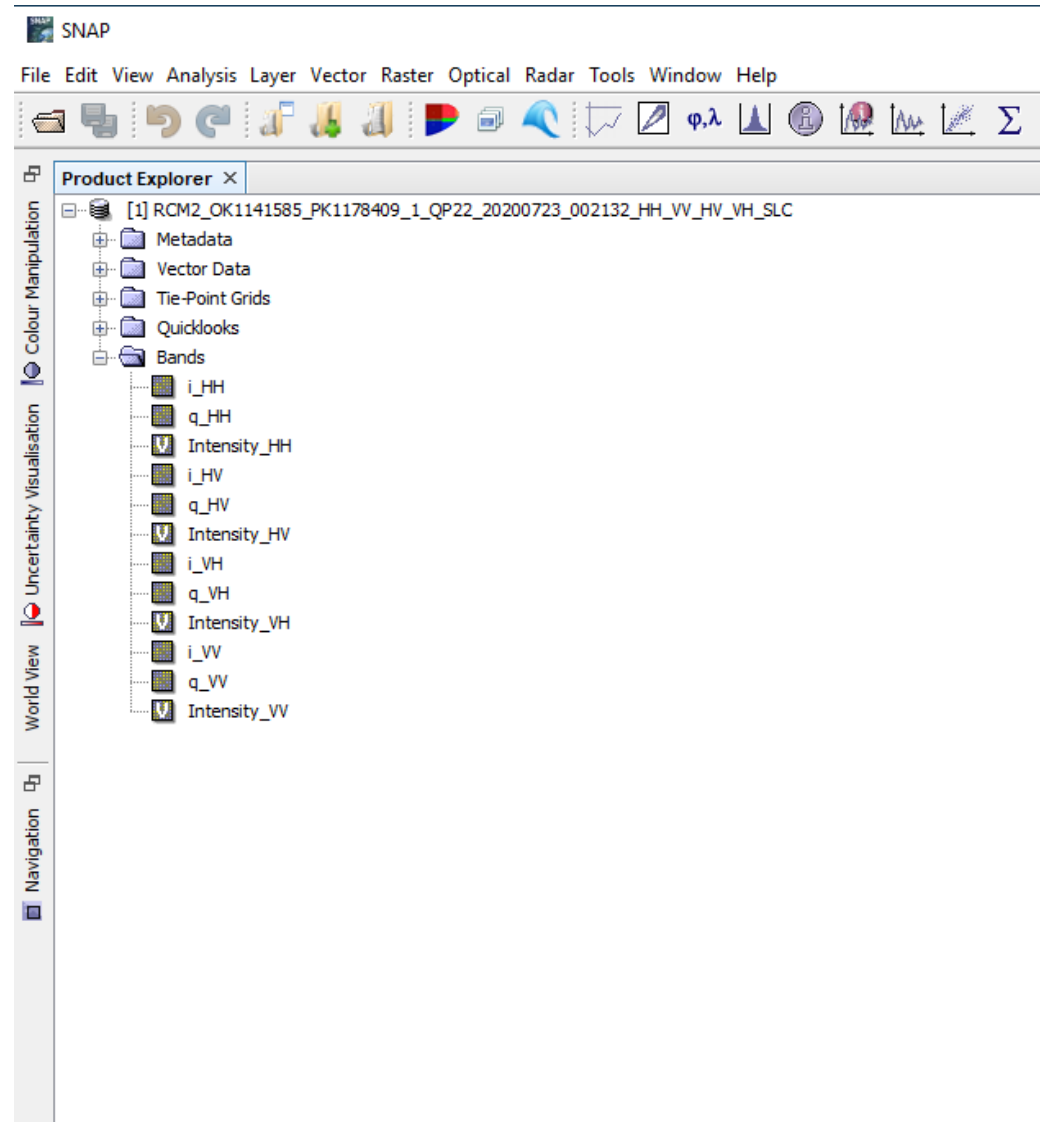
Conversión Radiométrica

- Los productos SLC de SAR son complejos y deben convertirse en canales de intensidad y fase.
- La conversión es específica para cada misión y los datos deben ser complejos para el procesamiento polarimétrico.
- Las tablas de referencia (Look Up Tables o LUTs) proporcionadas con los productos RCM SLC se utilizan para convertir DN en bandas complejas reales e imaginarias.
- SNAP automáticamente determinará qué tipo de producto de insumo tiene y cuál es la conversión que debe aplicarse en base al metadato del producto.



Abrir una Imagen RCM en SNAP

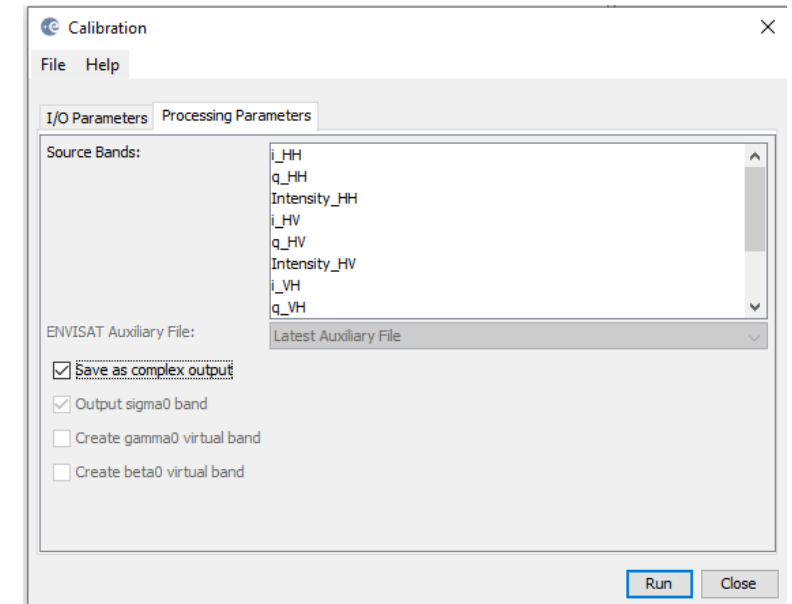
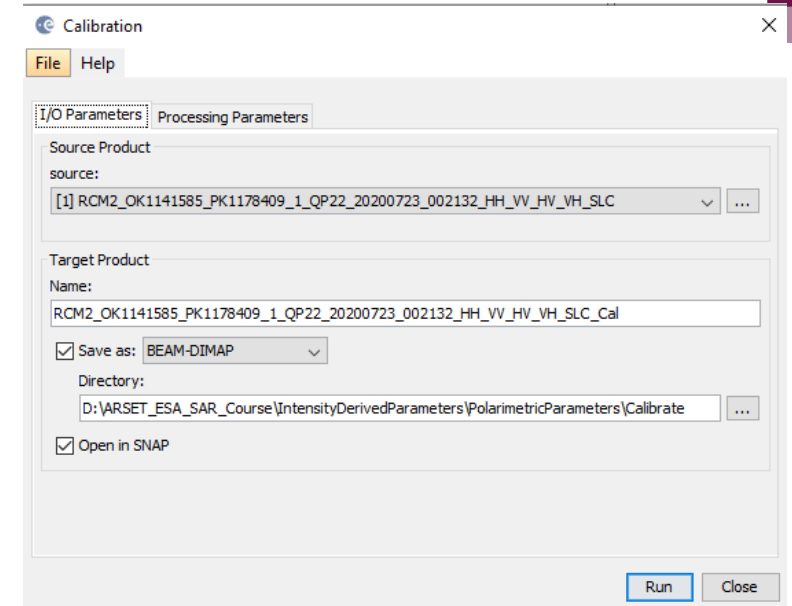
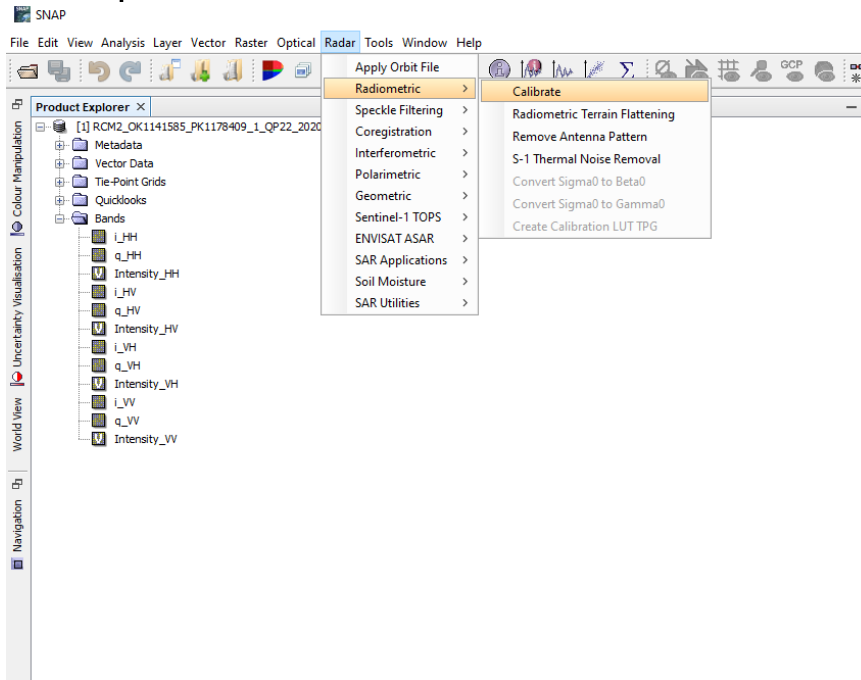
- Inicie la herramienta SNAP. Asegúrese de descomprimir la imagen RCM.
- En la interfaz SNAP, vaya al menú File >> open product.
- Haga clic en las carpetas de RCM hasta que encuentre el archivo manifest.safe, seleccione "Advanced" y "Yes".
- También puede "arrastrar y soltar" la carpeta en la ventana del Product Explorer en SNAP.
- La ventana Product Explorer de SNAP contiene bandas de polarizaciones iguales y polarizaciones cruzadas en formatos de intensidad y complejos.



Conversión Radiométrica in SNAP

Vaya a Radar Menu >> Radiometric >> Calibrate – Calibration:

- Pestaña I/O Parameters: Source → Raw RCM image + Target product
- Pestaña Processing Parameters : Source Bands → all bands; Save as complex output
- Haga clic en Run y después en Close cuando termine



Parámetros Polarimétricos en SNAP

Vaya a Radar Menu >>
Polairmetric>> Polarimetric
Parameters :

- Pestaña I/O
Parameters: Fuente →
Calibrated images +
Target product
- Pestaña Processing
Parameters tab:
 - Use Mean Matrix:
Elija un tamaño de
ventanilla (window
size) para generar
parámetros
 - Elija los
parámetros para
ejecutar
 - Haga clic en Run y
después en Close
cuando termine

The screenshot displays the SNAP (Software for Near-Range Applications) interface. The 'Radar' menu is open, showing the path: Radar > Polarimetric > Polarimetric Parameters. The 'Compute Polarimetric Parameters' dialog box is open, showing the 'I/O Parameters' and 'Processing Parameters' tabs. The 'Processing Parameters' tab is active, showing the following options:

- Use Mean Matrix
- Window Size X: 5
- Window Size Y: 5
- Span
- Pedestal Height
- Radar Vegetation Index (RVI)
- Radar Forest Degradation Index (RFDI)
- Canopy Structure Index (CSI)
- Volume Scattering Index (VSI)
- Biomass Index (BMI)
- Co-Pol HH/VV Ratio
- Cross-Pol HH/HV Ratio
- Cross-Pol VV/VH Ratio

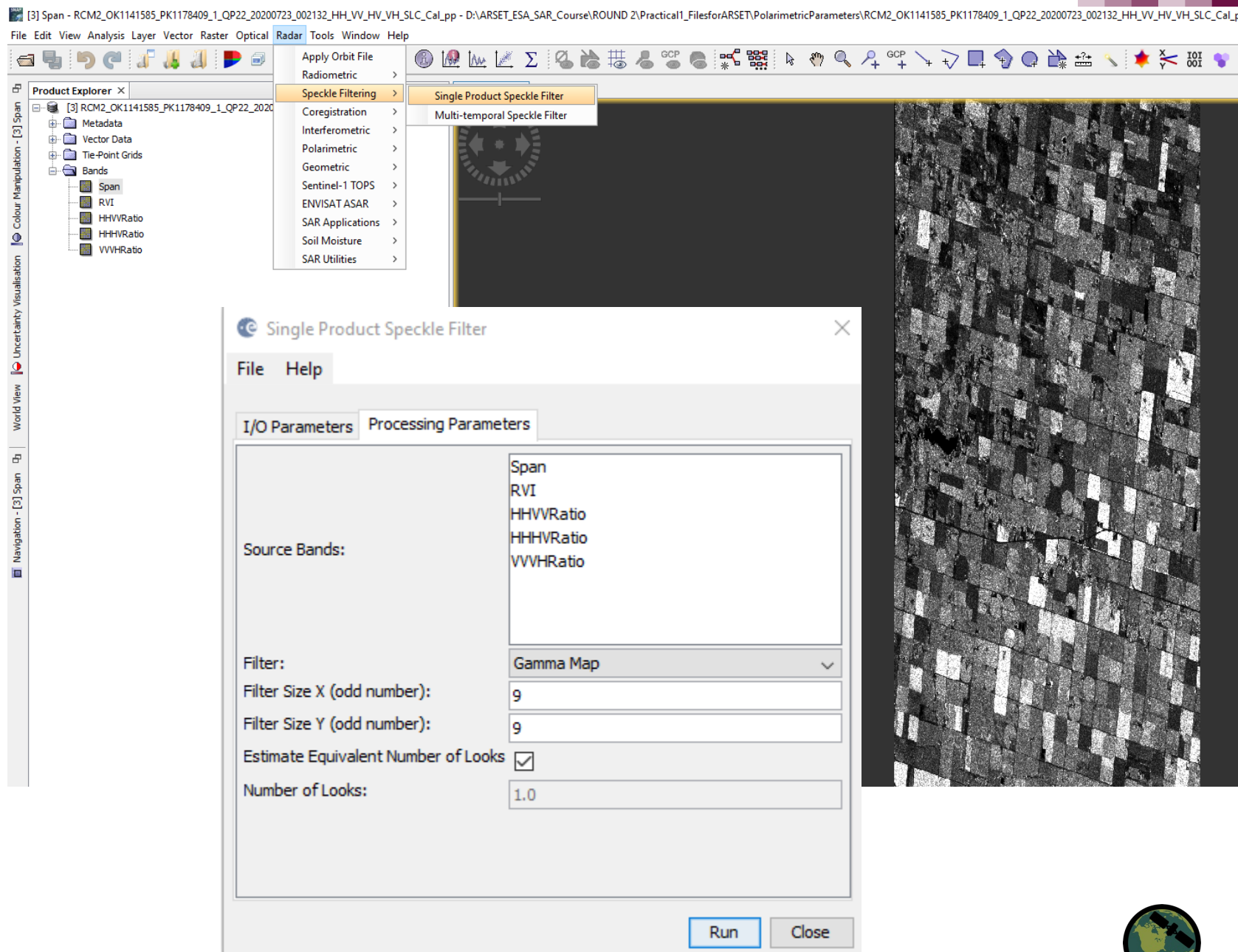
The 'Run' and 'Close' buttons are visible at the bottom right of the dialog box.

Filtro de Speckle para RADAR

Estos son parámetros derivados de la intensidad y, por lo tanto, se puede usar el filtrado de speckle de radar regular. La elección del tipo y tamaño de filtro debe estar relacionada con el AOI y el uso previsto de los datos finales.

Vaya a Radar Menu >> Speckle Filtering >> Single Product Speckle Filter :

- Pestaña I/O Parameters: Source → Calibrated Parameters images + Target product
- Pestaña Processing Parameters :
 - Speckle Filter: Elija uno de los tipos de filtros de speckle
 - Filter Size: Elija un tamaño de filtro
 - Haga clic en Run y después en Close cuando termine



Corrección del Terreno

- La Corrección del terreno con datos de un modelo de elevación digital (Digital Elevation Model o DEM) corrige distorsiones topográficas como el escorzo, superposición, o sombras.
- El método Range-Doppler es una forma de realizar la corrección geométrica. El método requiere información sobre la topografía (normalmente proporcionada por un DEM) y también sobre la órbita satelital para corregir las distorsiones topográficas y derivar una geolocalización par cada píxel de la imagen.

Vaya a Radar Menu >> Radar>> Geometric >> Terrain Correction >> Range Doppler Terrain Correction:

- I/O Parameters: Source → Speckled Filtered Parameters + Target product
- Pestaña Processing Parameters:
 - Digital Elevation Model: SRTM 1SEC HGT (o lo que sea apropiado par su área)
 - La mayoría de los parámetros se configurarán según su AOI
 - Haga clic en Run y después en Close cuando termine

The image shows a screenshot of a SAR software interface. The main window displays a speckled SAR image. A menu path is shown: Radar > Geometric > Terrain Correction > Range-Doppler Terrain Correction. A dialog box titled 'Range Doppler Terrain Correction' is open, showing the following parameters:

- I/O Parameters:** Source Bands: Span, RVI, HHVVRatio, HHHRatio, VVHRatio.
- Processing Parameters:**
 - Digital Elevation Model: SRTM 1Sec HGT (Auto Download)
 - DEM Resampling Method: BILINEAR_INTERPOLATION
 - Image Resampling Method: BILINEAR_INTERPOLATION
 - Source GR Pixel Spacings (az x rg): 3.25(m) x 6.5(m)
 - Pixel Spacing (m): 6.5
 - Pixel Spacing (deg): 5.839049346776889E-5
 - Map Projection: UTM Zone 14 / World Geodetic System 1984
 - Mask out areas without elevation Output complex data
 - Output bands for:
 - Selected source band DEM Latitude & Longitude
 - Incidence angle from ellipsoid Local incidence angle Projected local incidence angle
 - Apply radiometric normalization
 - Save Sigma0 band: Use projected local incidence angle from DEM
 - Save Gamma0 band: Use projected local incidence angle from DEM
 - Save Beta0 band
 - Auxiliary File (ASAR only): Latest Auxiliary File

Buttons for 'Run' and 'Close' are visible at the bottom of the dialog box.



Una vez que se genere...

- Como se mencionó, hay muchas cosas que puede hacer con estos parámetros para monitorear la agricultura.
- Utilícelos:
 - Para clasificaciones
 - En correlaciones con biomasa, LAI, etc.
 - Para evaluar cambios

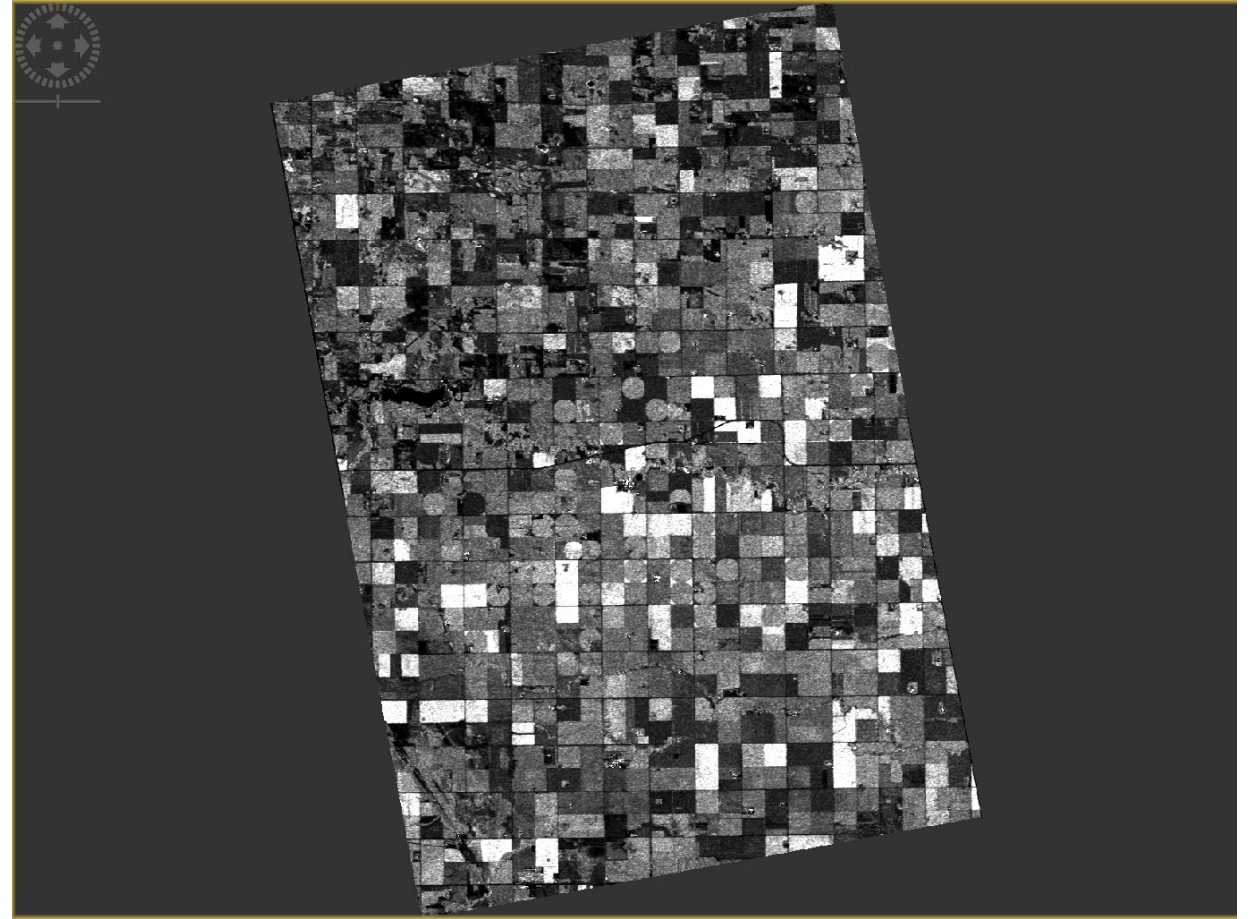


Imagen de Span – RCM 23 de julio de 2020, Carman, Manitoba, Canadá



¿Preguntas?

- Por favor escriban sus preguntas en el cuadro para preguntas. Las responderemos en el orden que las recibimos.
- Publicaremos las preguntas y respuestas en la página web de la capacitación después de la conclusión del webinar.



Contactos

- Presentadoras:
 - Sarah Banks: sarah.banks@ec.gc.ca
 - Laura Dingle-Robertson: laura.dingle-robertson@agr.gc.ca
- Página Web de la Capacitación:
 - <https://appliedsciences.nasa.gov/mission/training/spanish/arset-mapeo-de-cultivos-y-sus-caracteristicas-biofisicas-con-sar>
- Página Web de ARSET:
 - <https://appliedsciences.nasa.gov/arset>
- Twitter: [@NASAARSET](https://twitter.com/NASAARSET)

Échele un vistazo a nuestros programas hermanos:





¡Gracias!

