

---

# **Proyecto Especial 1er cuatrimestre 2019**

***Procesamiento de señales de radar de apertura sintética (SAR)***

**Señales y Sistemas (66.74)**

**Facultad de Ingeniería  
Universidad de Buenos Aires**

**20 de mayo de 2019**

# Índice general

Introducción al radar SAR .....	1
Introducción.....	1
Teoría básica del radar.....	2
Señal SAR - Parte analógica.....	3
Señal SAR - Parte digital .....	5
Compresión en rango .....	6
Compresión en acimut.....	7
Bibliografía .....	10
Nota legal.....	10
Apéndice A .....	11

---

---

El presente proyecto especial tiene como objetivo hacer uso de técnicas y herramientas de análisis de señales, aplicándolas a un problema práctico de utilidad. **Se propone realizar un análisis a nivel de señal del funcionamiento de un radar de apertura sintética (SAR) y desarrollar un algoritmo para procesar los datos obtenidos por el radar, con el objetivo de lograr focalizar una imagen de alta resolución del terreno donde fue realizada la adquisición de los datos.** Para ello se utilizarán las siguientes herramientas que fueron estudiadas durante la cursada:

- Análisis de sistemas en el dominio de Fourier.
- Utilización de DFT para realizar el filtrado de señales.
- Utilización de DFT para estimar el espectro de las señales.
- Comprensión de los efectos del muestreo y sub-muestreo y el fenómeno de *aliasing*.
- Transformada de Fourier de corto tiempo.

## Requisitos de aprobación

El proyecto especial tendrá una fecha límite de vencimiento y su evaluación está establecida en el calendario de la materia, día en el cual el alumno deberá presentarse indefectiblemente con el informe del proyecto en forma impresa. Habrá un rango de fechas anterior a la fecha definitiva de entrega en el cual el alumno podrá hacer una pre-entrega del proyecto especial en versión electrónica, pdf solamente, en <http://campus.fi.uba.ar/>. Durante ese rango de fechas el docente puede aconsejar al alumno la revisión de ciertos puntos en el proyecto. Luego del cierre del período de pre-entrega, se habilitará un período de entrega definitiva, donde el alumno debe depositar su versión pdf del informe y los algoritmos correspondientes. Luego del vencimiento del período de entrega definitivo (anterior a la evaluación del proyecto especial en unos días), no se admitirán más entregas y el alumno que no cumpla este requisito quedará libre. Luego el docente de cada curso evaluará el mismo en tiempo y forma, utilizando la versión electrónica o la impresa que de ninguna manera pueden diferir entre sí. La modalidad de la evaluación se realizará según el docente lo crea

conveniente (oral, escrita, el día de la entrega, otro día, etc.), de modo de asegurar el conocimiento del tema desarrollado y la realización individual del trabajo por parte del alumno. El trabajo sólo podrá ser presentado y evaluado en el curso en el cual el alumno se halla inscripto.

La evaluación final puede incluir preguntas sobre:

- Ítems particulares sobre los ejercicios de esta guía y su implementación.
- Conceptos teóricos necesarios para realizar los ejercicios.

Puede requerirse también al alumno que implemente alguno de los ejercicios similares en la computadora en el momento de la evaluación. Por lo tanto, el alumno debe presentarse el día de la evaluación con:

- Esta guía.
- Las señales utilizadas para el desarrollo del TP en versión electrónica.
- Las soluciones a los problemas planteados: Cuando el problema requiera una implementación, la misma debe estar adecuadamente descripta y debidamente justificada. Es decir, si es necesario justificación teórica, ésta debe estar desarrollada. Si se pide una implementación práctica la misma debe estar adecuadamente documentada de modo que el docente pueda constatar que las especificaciones requeridas se cumplen. Esto incluye la presentación del programa utilizado, y los gráficos necesarios para mostrar los resultados obtenidos en formato electrónico e impresos. Se sugiere que el formato electrónico no dependa de que funcione internet para poder verse, para evitar inconvenientes. **Todos los gráficos deberán tener título, comentarios en ambos ejes sobre la unidad a representar y el eje de abscisas debe estar en unidades de tiempo o frecuencia según corresponda.**

## Nota del trabajo práctico especial

El proyecto especial se aprobará con 60 puntos sobre 100. La nota final de cursada se determina ponderando la nota del parcial  $N_{par}$  con la nota del proyecto especial  $N_{pe}$  del siguiente modo:

$$N_{cur} = 0,6N_{par} + 0,4N_{pe}$$

Como tanto la nota del parcial  $N_{par}$  como la nota del proyecto especial  $N_{pe}$  deben ser mayores a 60, para la aprobación de la cursada la nota de cursada  $N_{cur}$  debe ser mayor que 60 puntos, y se recuerda que la aprobación del Proyecto Especial también es obligatoria para la aprobación de la cursada. Cada ejercicio totalmente bien resuelto tendrá el puntaje que figura en la parte de ejercitación. Cada docente evaluará de acuerdo a esa grilla el trabajo realizado.

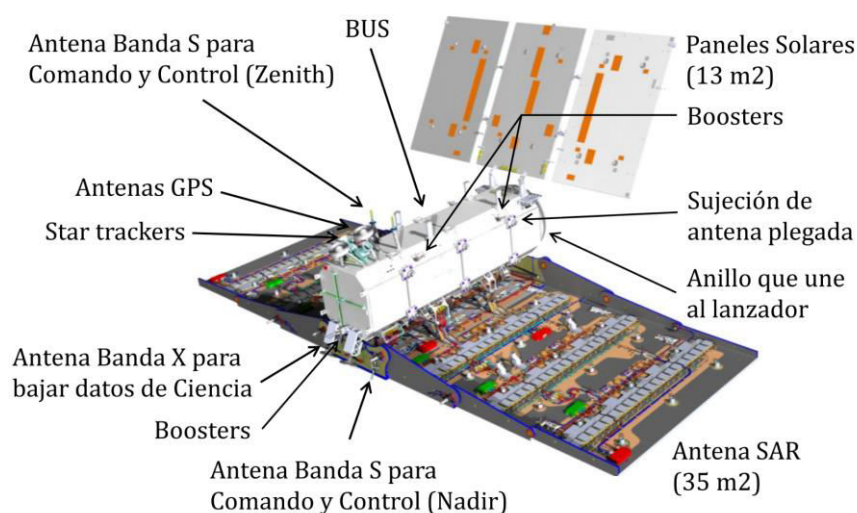
# Introducción al radar SAR

## Introducción

Un radar es, fundamentalmente, un dispositivo que emite y recibe pulsos de radiación electromagnética mediante una antena. Al emitir un pulso, la energía se propaga a través del espacio casi sin impedimentos hasta encontrar un obstáculo (elemento dispersor) en su camino. La interacción del pulso con el obstáculo involucra una dispersión de energía: una parte puede ser absorbida por el objeto, otra pasar a través de él y otra ser reflejada, en principio en cualquier dirección. La parte de la energía que se refleja de vuelta hacia el radar se denomina eco, y es lo que el radar mide con el fin de detectar la presencia de objetos dentro de su rango de operación.

Un radar de apertura sintética o SAR (*Synthetic Aperture Radar*) es un tipo de radar que permite obtener imágenes de alta resolución espacial. El mismo se encuentra montado sobre una plataforma móvil (en general un aeroplano o satélite), con su antena apuntada hacia la tierra en un cierto ángulo y mirando de costado a la trayectoria. A medida que la plataforma avanza, el radar emite pulsos y recibe los ecos que resultan de la dispersión contra elementos en la tierra. Posteriormente, los ecos recibidos por el radar son procesados para focalizar la imagen. Esta etapa de procesamiento es la que se implementará en el desarrollo del presente trabajo práctico.

En Argentina, la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) lleva adelante el diseño, desarrollo y operación de la misión SAOCOM (Satélite Argentino de Observación Con Microondas). Esta misión consta de dos satélites idénticos de 3 toneladas de peso que portan un radar SAR cada uno, el cual funciona a través de una impresionante antena de 35m<sup>2</sup> desplegada en el espacio. La construcción de los satélites es una colaboración entre varias empresas y organismos nacionales, principalmente la CONAE, el INVAP y la CNEA. El primer satélite (SAOCOM-1A) fue lanzado exitosamente en octubre de 2018, previéndose el lanzamiento del SAOCOM-1B para fines de 2019.



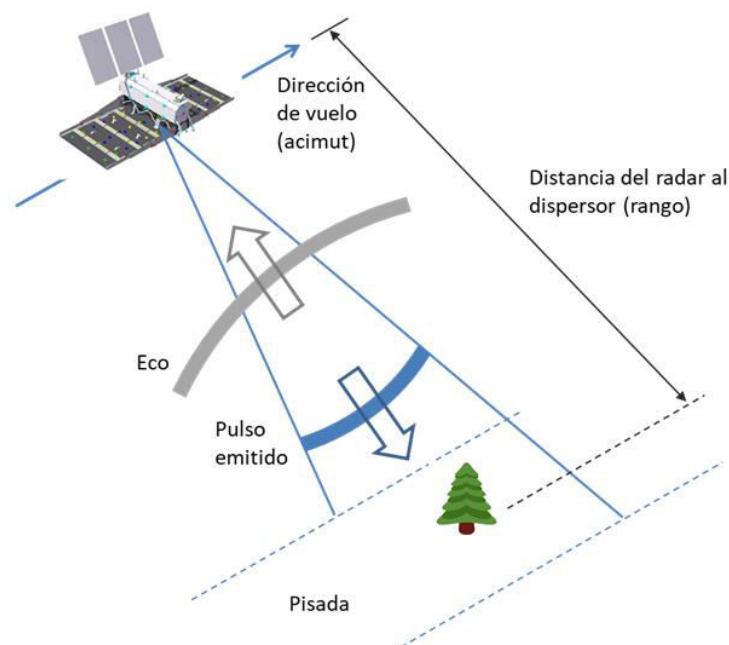
**Figura 1.** Vista esquemática del satélite SAOCOM. La dirección de vuelo es solidaria al lado largo de la antena. El satélite completa una vuelta al mundo cada 97 minutos.

Previo al desarrollo de SAOCOM, la CONAE realizó estudios construyendo y operando un SAR aerotransportado llamado SARAT, el cual poseía un radar con características similares al de SAOCOM pero con una antena reducida. En este trabajo, estudiaremos el funcionamiento del radar SAR e implementaremos un algoritmo que permita lograr enfocar una imagen real adquirida por SARAT.

## Teoría básica del radar

La antena del radar se encuentra montada sobre una plataforma móvil que mira hacia la tierra. A medida que la plataforma avanza, el radar emite breves pulsos electromagnéticos, los cuales se propagan a la velocidad de la luz hasta llegar a la tierra. Al encontrar dispersores en su camino, el pulso sufre una reflexión por cada uno de ellos, con lo cual llegan de vuelta al radar múltiples ecos superpuestos. Esta señal es la que digitaliza el radar para almacenarla en memoria.

Llamamos *acimut* a la dirección de vuelo de la plataforma. Llamamos *rango* a la distancia entre la plataforma y los elementos dispersores. Nótese que el rango varía según donde se encuentren los dispersores en relación a la plataforma. La *pisada* es la porción del suelo que es visible para el radar, la cual queda delimitada entre un *rango cercano* y un *rango lejano*.

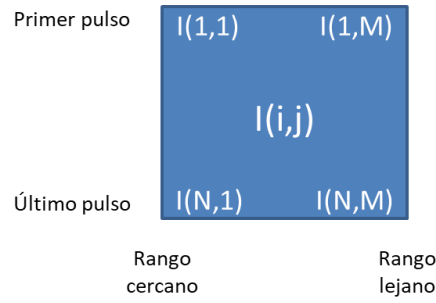


**Figura 2.** Geometría para adquisición de una imagen radar.

La antena es comandada electrónicamente para cambiar de modo emisión a modo recepción en forma coordinada. La secuencia que sigue es:

1. Modo emisión: emite un breve pulso de  $10\ \mu\text{s}$ .
2. Modo recepción: la antena se pone en “modo escucha” para ser utilizada como receptora. Luego de esperar algunos  $\mu\text{s}$  para que el pulso emitido llegue al suelo y vuelva el primer eco (viaja a la velocidad de la luz), comienza a digitalizar la señal de los ecos que llegan de vuelta al radar durante un cierto intervalo de tiempo (aprox.  $100\ \mu\text{s}$ ). Este intervalo determina el ancho de la pisada que el radar observa en el suelo (típicamente algunas decenas de km).
3. Repite esta secuencia cada 8ms (es decir, los pulsos se envían con una frecuencia de 125 Hz)

La digitalización realizada en el paso (2) conforma el registro de los datos que se van almacenando en forma secuencial para luego ser procesados y formar la imagen. La forma de guardarlos es en una matriz  $I(i,j)$ : la fila  $i$  contiene la digitalización de los ecos que corresponden al pulso  $i$ ; el índice  $j$  indexa las muestras que van del rango cercano al rango lejano. Por ejemplo,  $I(10,500)$  contiene la muestra número 500 que se digitalizó correspondiendo del décimo pulso emitido.



**Figura 3.** Matriz  $I$  ( $N \times M$ ) de datos digitalizados por el radar. La dirección de acimut se corresponde con las columnas (vertical) y la de rango con las filas (horizontal).

Siguiendo la descripción anterior se deduce que, mientras más breves sean los pulsos emitidos por el radar, mayor capacidad tendrá de distinguir objetos cercanos entre sí en la tierra. A esta capacidad de poder distinguir diferentes objetos en la tierra se la denomina *resolución* del radar.

## Señal SAR - Parte analógica

El pulso emitido por el radar es un tipo particular de señal llamada *chirp*<sup>1</sup>. Un *chirp* es esencialmente una señal senoidal de duración finita cuya frecuencia no es constante, sino que varía linealmente con el tiempo.

Se define una señal *chirp* en banda base como:

$$\text{chirp}(t) = \exp(j2\pi\theta(t)) \quad 0 < t < T$$

siendo  $\theta(t)$  [Hz] una función cuadrática del tiempo, denominada función de fase:

$$\theta(t) = k_1 t^2 + k_2 t + \phi_0$$

Se define además a la *frecuencia instantánea* del chirp como la derivada de la función de fase:

$$f_{\text{inst}}(t) = \frac{d\theta(t)}{dt}$$

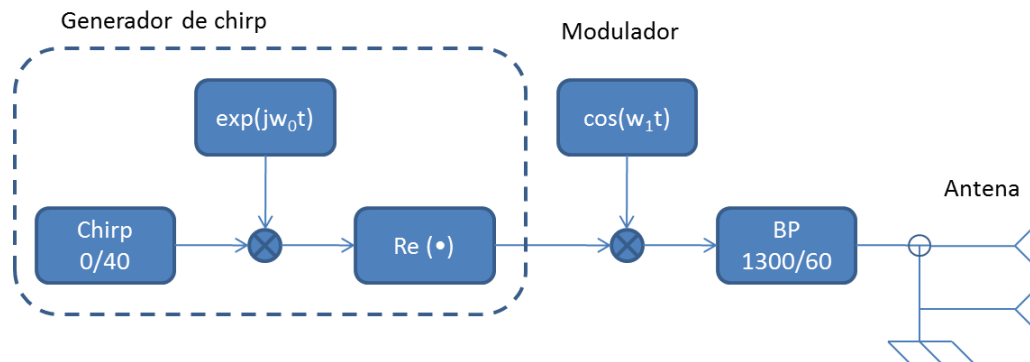
Para los siguientes ejercicios, considere un *chirp* cuya frecuencia varía linealmente desde  $-BW_{rg}/2$  hasta  $BW_{rg}/2$  (es decir, en forma ascendente) en un tiempo  $T_{rg}$ , cuyos parámetros se encuentran en el Apéndice A.

- Ejercicio 1. Determine las constantes  $k_1$ ,  $k_2$  y  $T$  para obtener un *chirp* con las características especificadas. ¿Cuál es el ancho de banda del *chirp* en función de  $k_1$ ,  $k_2$  y  $T$ ?
- Ejercicio 2. Considerando una frecuencia de muestreo  $f_s$  de 50 MHz, genere numéricamente el *chirp* en banda base y grafique parte real, parte imaginaria y función de fase. Utilizando DFT, grafique también el módulo del espectro en escala logarítmica, y verifique que el ancho de banda sea el especificado.

<sup>1</sup> Chirp: en inglés se denomina así al canto de los pájaros, los cuales se destacan por poseer una frecuencia característica que aumenta o disminuye dentro de cada pío.

- Ejercicio 3. Realice un espectrograma del *chirp* del ejercicio anterior, para el caso en que se satisface Nyquist y otro en que no (reducir intencionalmente la frecuencia de muestreo). ¿Cuál es la mínima frecuencia de muestreo a partir de la cual empieza a observar *aliasing*? Justifique la elección de la ventana que utilizó para generar el espectrograma.

Antes de ser emitida por el radar, el chirp es montado sobre una *portadora*<sup>2</sup> que determina la banda a la que opera el radar. Para el SARAT, la portadora es de 1300 MHz. El diagrama que se muestra a continuación esquematiza la generación, modulación y transmisión del chirp:



**Figura 4.** Diagrama en bloques mostrando el generador de chirp y el bloque modulador.

Descripción de los bloques: *Chirp 0/40* es el bloque genera un chirp de 40 MHz de ancho de banda en banda base (la misma del ejercicio 1), *BP 1300/60* es un filtro pasabanda real con 60 MHz de ancho de banda y frecuencia central 1300 MHz. *Re(•)* es el operador que toma la parte real de una señal, e *Im(•)* la imaginaria.

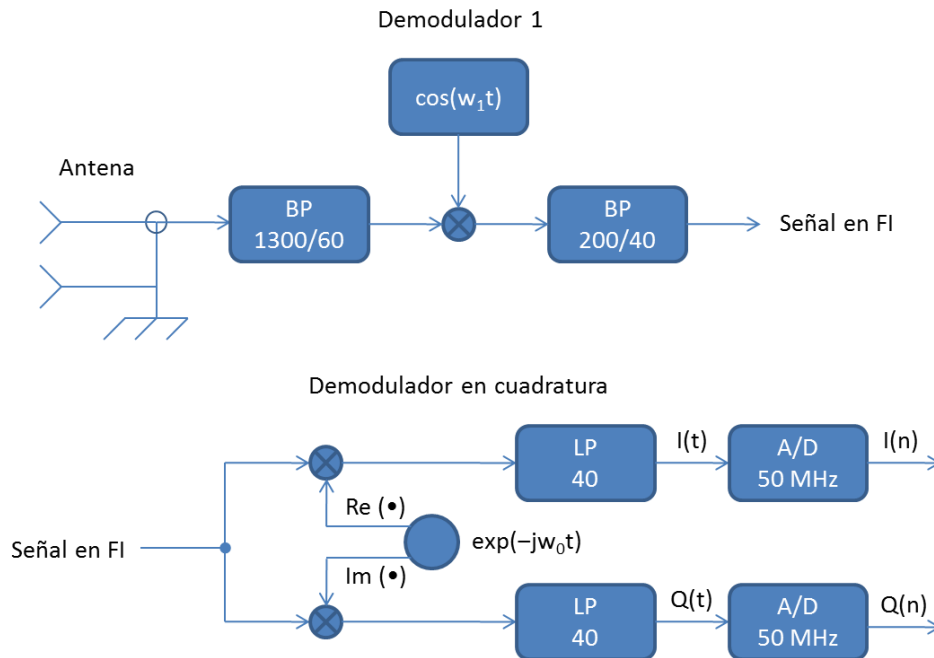
Utilizando como datos  $\omega_0 = 2\pi 200 \text{ MHz}$ ,  $\omega_1 = 2\pi 1100 \text{ MHz}$ :

- Ejercicio 4. Dibuje esquemáticamente la magnitud de los espectros de las señales en cada punto del diagrama. Considere además que, por un desperfecto del generador, el chirp posee una atenuación a medida que su frecuencia aumenta (ocasionando un espectro asimétrico).

Una vez que el chirp es emitido por la antena, se propaga prácticamente sin impedimentos hasta ser reflejada de vuelta al radar por los dispersores. El medio de transmisión *puede considerarse como un sistema LTI*, introduciendo solo un retardo y una atenuación sobre la señal emitida.

El diagrama que se muestra a continuación esquematiza la recepción y digitalización de los ecos (se dividió en dos partes por claridad):

<sup>2</sup> La frecuencia de la portadora determina ante qué obstáculos el pulso emitido sufre reflexiones y/o atenuaciones. La frecuencia de 1300 MHz es insensible a las condiciones atmosféricas (las nubes y la humedad no la afectan) con lo cual la toma de imágenes no es afectada por las condiciones climáticas.



**Figura 5.** Diagrama en bloques mostrando el sistema de recepción y digitalización de la señal. El diagrama inferior (demodulador en cuadratura) es la continuación del superior.

La señal recibida es demodulada y pasada a una frecuencia intermedia (FI), es decir, no se le quita completamente la portadora. Posteriormente es nuevamente demodulada por un sistema denominado *demodulador en cuadratura* y digitalizada, para tener finalmente las señales de salida  $I(n)$  y  $Q(n)$  que son las que se guardan en memoria. De esta manera se conforma una señal discreta compleja  $S(n)$  siendo  $I(n)$  la parte real y  $Q(n)$  la parte imaginaria, es decir  $S(n) = I(n) + jQ(n)$ .

- Ejercicio 5. Realice la misma consigna del ítem (4) aplicada al sistema receptor, considerando por simplicidad que la señal que recibe la antena es igual a la que fue transmitida.
- Ejercicio 6. ¿Cuál es la relación de las señales  $I(t)$  y  $Q(t)$  con el *chirp* emitido originalmente? Ayuda: mostrar su relación con las partes real e imaginaria del *chirp*.

## Señal SAR - Parte digital

El procesamiento digital comienza a partir de la señal compleja descrita en la sección anterior, acomodada en forma de matriz tal como se describió al inicio del práctico. Para esto se utilizarán los archivos `SAR_data_sint.mat` y `SAR_data_sarat.mat`, los cuales tienen respectivamente una imagen sintética (simulada), correspondiente a 1 elemento dispersor aislado, y una imagen adquirida por SARAT. La primera se utilizará para desarrollar el focalizador y la segunda para aplicarlo sobre una imagen verdadera. Los parámetros de cada imagen se hallan en el Apéndice A.

El procesamiento se divide en 2 etapas individuales que sirven para enfocar la imagen:

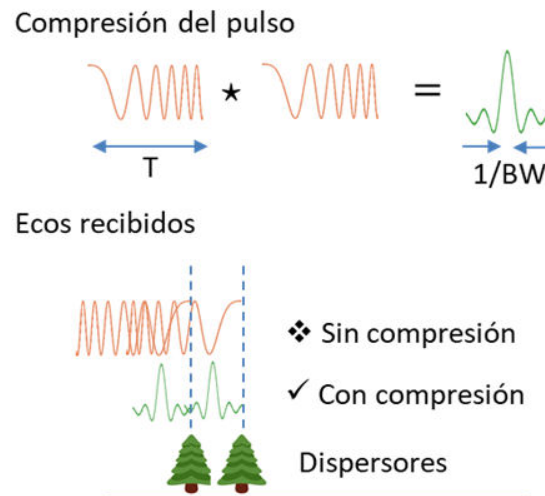
1. Focalización en rango
2. Focalización en acimut

El proceso de focalización consiste en mejorar la resolución de la imagen mediante una técnica denominada *compresión de pulso*. El principio es sencillo: realizar la operación de *correlación* de un chirp de ancho de banda  $BW$  [Hz] consigo mismo resulta en una señal similar a una sinc, con su energía concentrada en intervalo temporal  $1/BW$ . Si  $1/BW \ll T$ , entonces mediante la correlación



habremos “comprimido” un pulso de duración  $T$  a uno de duración  $1/BW$ , mejorando la resolución en un factor  $T BW$ .

La operación de correlación se realizará sobre las filas de la matriz para focalizar la imagen en rango, y sobre sus columnas para hacerlo en acimut (pero utilizando un *chirp* distinto al de rango).



**Figura 6.** Realizar la correlación de los ecos recibidos con el chirp emitido es equivalente a haber emitido un pulso de duración mucho menor, mejorando así la resolución del radar.

Definimos la operación de correlación de la señal  $x(n)$  con la señal  $y(n)$  como:

$$C_{xy}(n) = x(n) \star y(n) = \sum_{\forall k} x(k) y^*(k + n)$$

La operación de correlación de una señal consigo misma se denomina *autocorrelación*.

- Ejercicio 7. Halle la relación entre la operación de correlación y la de convolución. ¿Es una operación conmutativa ( $C_{xy}(n) = C_{yx}(n)$ )? ¿Cómo se relaciona la transformada de Fourier de la correlación entre dos señales con la transformada de cada señal?
- Ejercicio 8. Utilizando el chirp generado en el ejercicio (2), realice su autocorrelación. Grafique el módulo de la señal resultante. ¿En qué factor se da aproximadamente la compresión del pulso?
- Ejercicio 9. Implemente el ejercicio 8 utilizando DFT. Nota: es muy importante no introducir retardos en la señal de modo que, si el *chirp* comienza en la muestra número  $j$ , luego de realizar la correlación el pico de la sinc deberá encontrarse en la muestra  $j$ . Si esto no sucede, se obtendrán malos resultados en la parte de compresión en acimut más adelante.

## Compresión en rango

La técnica de compresión de pulso se aplica a cada fila de la matriz, de modo tal de obtener una imagen *comprimida en rango*, es decir, una imagen SAR con alta resolución en la dirección de rango.

- Ejercicio 10. Cargar en memoria la matriz contenida en el archivo `SAR_data_sint.mat`. Reutilizando lo desarrollado en el ejercicio (9), implemente un ciclo para focalizar la imagen en

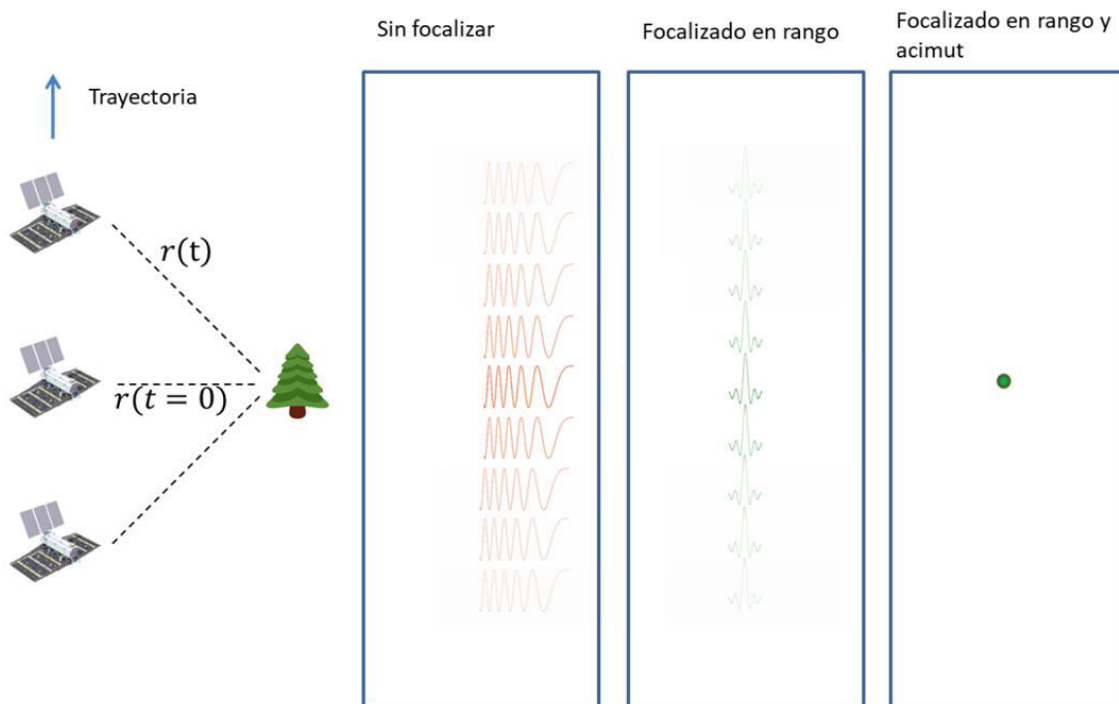
la dirección de rango, es decir, realizar la correlación de cada fila de la matriz con el chirp emitido. Visualice el módulo de la imagen antes y luego de la compresión, donde debería ver claramente la compresión en rango (ver figura 7 para una guía ilustrativa). Una vez que verifique el correcto funcionamiento, aplique el mismo algoritmo a la imagen SARAT.

La técnica que se utiliza para enfocar la imagen en la dirección de acimut se describe en la sección siguiente, y es a la que se debe la denominación de “apertura sintética” a este tipo de radares.

## Compresión en acimut

La técnica para enfocar la imagen en acimut consiste en correlacionar cada columna de la matriz con un chirp. Este chirp es diferente al utilizado anteriormente, ya que surge debido al movimiento de la plataforma y aprovecha el hecho de que un mismo elemento dispersor es iluminado por múltiples pulsos a lo largo de la trayectoria.

Para ver esto, supongamos que la plataforma avanza a lo largo de un dispersor, enviando pulsos y recibiendo ecos como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 7.** Un mismo dispersor es iluminado múltiples veces a lo largo de la trayectoria, cada vez que se emite un pulso. Los rectángulos de la derecha representan la imagen del radar a través de los diferentes estadios de focalización. Se observa como múltiples filas contienen los ecos de un mismo dispersor, los cuales se hacen cada vez más tenues a medida que el radar se aleja.

El dispersor es iluminado múltiples veces a lo largo de la trayectoria, cada vez que se emite un pulso. Por lo tanto, su eco aparece replicado en varias filas. Debido a que la distancia entre el radar y el dispersor cambia, la fase con que se recibe el eco también lo hace.

Una onda monocromática de longitud de onda  $\lambda$  [m] cambia su fase en  $2\pi$  cada vez que recorre una distancia  $\lambda$ . El pulso emitido por el radar puede considerarse monocromático, debido a que el ancho de banda del chirp emitido es ínfimo respecto de la portadora. Por lo tanto, si designamos la distancia dispersor-radar en función del tiempo como  $r(t)$ , la función de fase  $\theta_{az}(t)$  en [Hz] del

pulso recibido resulta (nota: el factor 2 es por la distancia ida y vuelta y el signo negativo es porque la fase decrece a medida que el radar se aproxima al dispersor):

$$\theta_{az}(t) = -\frac{2}{\lambda}r(t)$$

Utilizando Pitágoras, la distancia del radar al dispersor resulta

$$r(t) = \sqrt{r_0^2 + (vt)^2}$$

donde  $r_0 = r(t = 0)$  es el rango de máxima aproximación, y  $vt$  la distancia que recorre la plataforma a lo largo de acimut en un tiempo  $t$ , viajando a una velocidad  $v$ . Desarrollando  $r(t)$  en polinomio de Taylor, se obtiene una relación cuadrática del rango con el tiempo:

$$r(t) \cong r_0 + \frac{v^2}{2r_0} t^2$$

Esto implica que la función de fase resulta a su vez cuadrática, con lo cual se tiene definido un nuevo chirp en la dirección de acimut, cuya función de fase está dada por:

$$\theta_{az}(t) = -\frac{v^2}{\lambda r_0} t^2 + \theta_0$$

La variable temporal  $t$  varía entre  $-T_{az}/2$  y  $T_{az}/2$ , con

$$T_{az} = \frac{\eta_{az} r_0}{v}$$

Nota:  $\eta_{az}$  [rad] es el ángulo que abarca la iluminación de la antena en acimut (ver Apéndice A).

- Ejercicio 11. ¿Cuál es la duración temporal y el ancho de banda del chirp en acimut? ¿Cuál es su factor de compresión? Compare con el chirp utilizado para comprimir en rango.

A continuación, se implementará el algoritmo de compresión en acimut, con lo cual se obtendrá la imagen final *completamente focalizada*. Este algoritmo es idéntico al de compresión en rango, pero realizando la correlación sobre cada columna de la matriz en vez de cada fila.

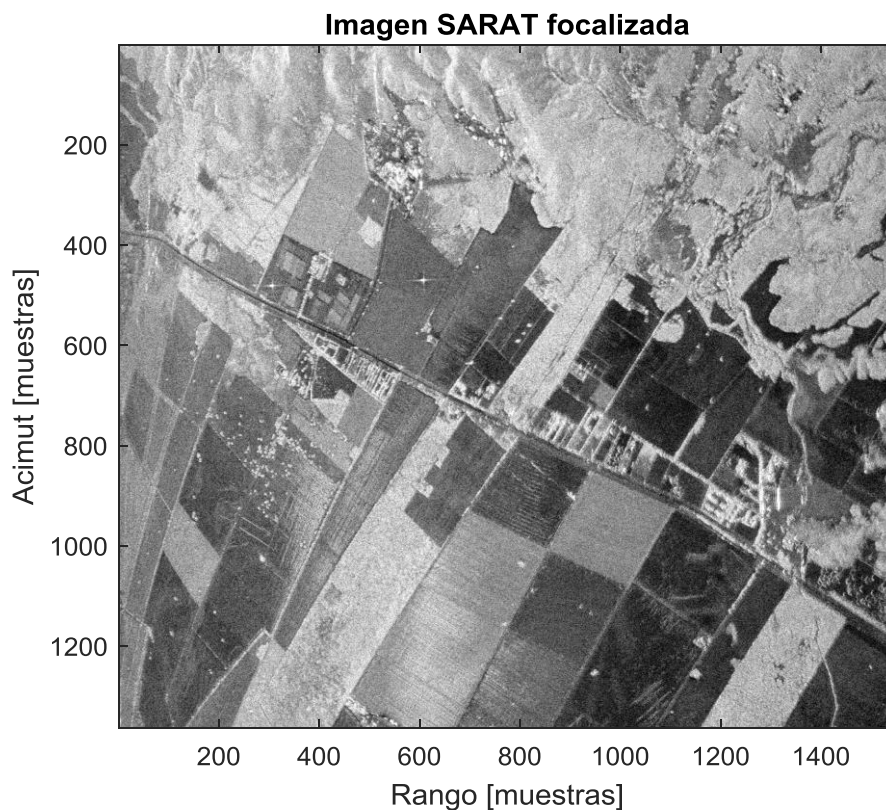
Es muy importante notar que la frecuencia de muestreo en acimut es diferente a la de rango: se genera una nueva muestra en acimut cada vez que el radar registra una nueva fila de la matriz. Por lo tanto, en acimut (columnas de la matriz) no se tiene más la frecuencia de muestreo  $f_s = 50\text{MHz}$  como en el caso de rango, sino que la frecuencia de muestreo es  $PRF = 125\text{Hz}$ .

- Ejercicio 12. Genere el chirp en acimut utilizando la PC y realice un espectrograma. Compruebe que su duración temporal y rango de frecuencias se correspondan con lo determinado en el ejercicio anterior. Verifique además que la función de fase varía en forma descendente, al contrario de lo que sucedía con el chirp en rango.
- Ejercicio 13. Implemente el algoritmo de compresión en acimut para focalizar completamente la imagen SAR, utilizando como entrada la imagen ya focalizada en rango. Aplique este algoritmo al dato sintético y, una vez que obtenga un punto bien focalizado, al

dato SARAT contenido en `SAR_data_sarat.mat`. Visualice el módulo de las imágenes obtenidas en escala logarítmica.

- Opcional 14. La visualización de la imagen SARAT puede mejorarse si se aplica un promediador móvil sobre el valor absoluto de la imagen focalizada, de manera que reduzca el ruido. Además, el pixel de la imagen SARAT es 4 veces más chico en acimut que en rango, con lo cual sub-muestrear la imagen 4 veces en acimut puede lograr una vista más natural de la imagen focalizada.
- Opcional 15. Mejorar el focalizador del ejercicio 13, generando el chirp en acimut para cada columna utilizando su  $r_0$  correspondiente en lugar de un  $r_0$  fijo (el cual es óptimo solo para la columna 650). La distancia en rango entre cada columna es de  $\Delta r = 3 \text{ m}$ . Por lo tanto, el nuevo  $r_0$  para cada columna  $j$  se calcula como  $r_0(j) = 7545 + 3(j - 650)$ .

Si implementó el algoritmo correctamente con los ítems opcionales, debería obtener una imagen con una focalización de calidad similar a la mostrada en la figura a continuación (nota: se verá desenfocada en los bordes laterales si no implementa el opcional 15):



**Figura 8.** Imagen SARAT focalizada en rango y acimut.

# Bibliografía

Cumming IG, Wong FH (2005). *Digital Processing Of Synthetic Aperture Radar Data: Algorithms And Implementation*. Artech House (January 2005).

Curlander JC (1991). *Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing*. Wiley-Interscience, 1st edition (November 1991).

## Nota legal

Los derechos de autor de los datos provenientes del sensor aerotransportado SARAT, ya sean datos crudos (RAW) o imágenes en sus distintos niveles de procesamiento, pertenecen a la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE).

Los datos SARAT (crudos y/o imágenes) estarán destinados para uso académico, investigación y desarrollo, y para publicaciones de índole académica y/o científica y tecnológica, sin fines de lucro. No está permitida la comercialización de los mismos, ni su distribución a otras partes, sin autorización expresa previa por escrito de la CONAE.

Sin perjuicio de lo anterior, el usuario podrá generar productos con información derivada o con valor agregado, como ser imágenes clasificadas o capas vectoriales, a partir de los datos SARAT (crudos y/o imágenes) para uso propio o distribución sin fines de lucro. El procesamiento SAR de los datos crudos (para su focalización), y los procedimientos elementales sobre las imágenes como realces, filtros, correcciones geométricas y extracción de "subsets" que no modifican esencialmente el contenido radiométrico de las mismas, no se consideran productos con información derivada o con valor agregado y no confiere al usuario derecho a la distribución de los productos generados, aun siendo sin fines de lucro.

En todas las publicaciones resultantes y/o distribución de productos con información derivada o con valor agregado, que hagan uso de datos SARAT (crudos y/o imágenes), se deberá indicar en forma clara y legible la naturaleza del producto original SARAT y mencionar explícitamente a la CONAE como proveedora de los datos y propietaria del derecho de autor de los mismos, incluyendo la expresión "© CONAE (año que corresponda)", por ejemplo "Datos crudos SARAT provistos por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales de Argentina (CONAE), © CONAE(2010)", o "Imagen SARAT de Nivel 1B provista por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales de Argentina (CONAE), © CONAE(2011)". De mediar un acuerdo mediante el cual el usuario ha recibido dichos datos, por ejemplo en el marco de Anuncios de Oportunidad, deberá hacerse mención a esta situación, por ejemplo "Imagen SARAT de Nivel 1B provista por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales de Argentina (CONAE) para el Proyecto (incluir nombre del proyecto) llevado a cabo en el marco del Anuncio de Oportunidad (incluir nombre del AO correspondiente), © CONAE(2011)".

CONAE no será responsable del uso que el usuario haga de los datos SARAT (crudos y/o imágenes), ni de los resultados que éste obtenga a partir de los mismos, ni de eventuales daños y perjuicios que puedan surgir al usuario y/o a terceros ya sea por el uso que el usuario haga de los datos, por los resultados que obtenga el usuario, por la distribución de productos con información derivada o con valor agregado por parte del usuario, y/o por el uso que terceras partes puedan hacer de dichos resultados o de dichos productos con información derivada o con valor agregado.

# Apéndice A

A continuación, se muestra en la tabla los datos SARAT necesarios para realizar los ejercicios:

Parámetro	Valor
Velocidad de la plataforma ( $v$ )	108 m/s
Frecuencia de muestreo en rango ( $f_s$ )	50 MHz
PRF (pulse repetition frequency)	125 Hz
Frecuencia de la portadora	1300 MHz
Longitud del chirp emitido ( $T_{rg}$ )	10 $\mu$ s
Ancho de banda del chirp emitido ( $BW_{rg}$ )	38 MHz
Longitud de onda ( $\lambda$ )	0.23 m
Rango central ( $r_0$ )	7545 m
Apertura angular de la antena en acimut ( $\eta_{az}$ )	0.107 rad

Tabla 1. Parámetros de SARAT para utilizar en la focalización de la imagen.