

## Capítulo 10

# Simulaciones numéricas de la SNR para un sistema 2D-LDA

### 10.1. Introducción

A partir de las formulaciones calculadas en el capítulo anterior, se ha realizado un conjunto de programas y rutinas implementadas en lenguaje C y Matlab, que nos permitieran conocer y estimar la relación señal a ruido  $SNR_{2D}$  de un sistema 2D-LDA de tres haces para diferentes configuraciones, y de todas aquellas expresiones asociadas como las componentes Doppler, Pedestal, Fase Doppler y Visibilidad local en cada punto de la apertura receptora, y integrada a la salida de un fotodetector, para un solo batido o interferencia entre los haces A y B, más un tercer haz C que como se ha visto, solo nos afectará a nivel de pedestal.

De esta manera, podremos explicar mediante resultados teóricos simulados, como se comporta la SNR del sistema en función de las diferentes características geométricas y físicas del sistema, además de su dependencia con ciertos parámetros de diseño, con el objetivo de maximizar el nivel de señal a la salida.

Primero veremos para diferentes casos, los mapas de la SNR local sobre una apertura receptora, y posteriormente la SNR total a la salida de un fotodetector.

Además, incluiremos algunos resultados para el caso de un sistema LDA de dos haces, para comprobar y comparar la disminución de la SNR a la salida del sistema 2D-LDA, respecto al anterior.

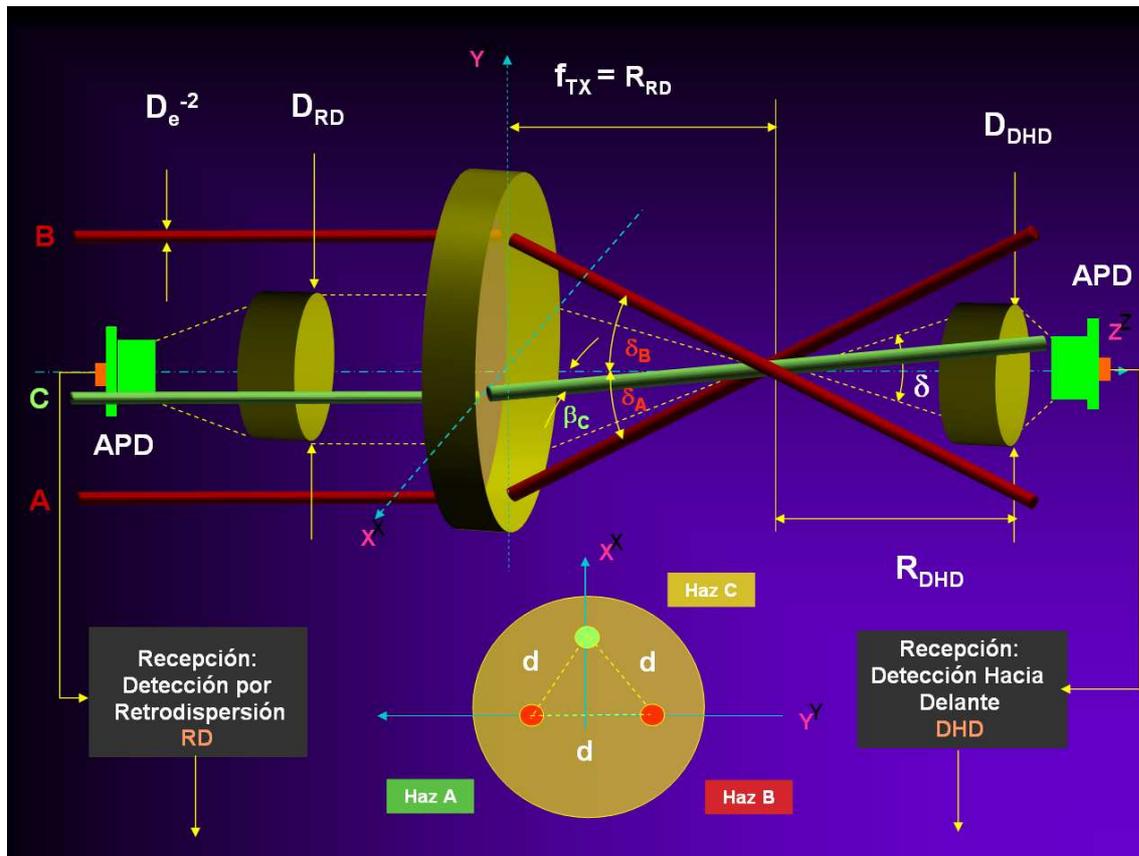


Figura 10.1 Parámetros del sistema 2D-LDA de la óptica transmisora y receptora

## 10.2. Especificaciones de las simulaciones

Vamos a presentar las especificaciones y valores de los diferentes parámetros que utilizaremos en los programas de simulación, definidos en la figura 10.1, que corresponden a los datos elegidos en el sistema 2D-LDA construido, presentado en el capítulo X.

**Geometría de sistema 2D-LDA.** La configuración utilizada será la presentada en la figura 9.5

**Ángulo entre haces.**

- Entre el haz A y el eje Z  $\implies \delta_A = 2,25^\circ$
- Entre el haz B y el eje Z  $\implies \delta_B = 2,25^\circ$
- Entre el haz C y el eje Z  $\implies \beta_C = 4,4931^\circ$

**Longitud de onda del láser.** Fuente de HeNe

- En el vacío:  $\lambda_o = 0,6328\mu m$
- En el fluido:  $\lambda = 0,4757\mu m$

### Tipo de Fluido

- Agua
- Índice de refracción  $n_m = 1,33$

### Sembrado.

- Tipo: Poliamida-12 (PSP) (Dantec)
- Diámetro:  $a_p = 5 - 30\mu m$
- Forma: Esférica.
- Índice de refracción:  $n_p = 1,5$

### Lente Transmisora

- Distancia Focal:  $f_{tx} = 250mm$
- Forma apertura: Circular.

### Lente Receptora

- Diámetro en RD: máximo  $D_{RD} = 40mm$
- Diámetro en RHD:  $D_{DHD} = 40mm$
- Forma apertura: Circular.

### Distancia punto de medida- lente receptora

- En RD:  $R_{RD} = 250mm$
- En DHD:  $R_{DHD} = 250mm$

Notemos que casi todos los parámetros del sistema son fijos e invariables debido a las especificaciones justificadas anteriormente, y por tanto sin ningún grado de libertad. Únicamente existen dos parámetros que, sin influenciar en los criterios de diseño, pueden ser variados, para conseguir maximizar la SNR del sistema. El primero, el diámetro de las partículas, que va a depender del tipo de sembrado elegido para realizar los experimentos de medida y el segundo, el más importante, el tamaño y posición de la apertura receptora.

El tamaño, posición y forma de la lente de recepción impondrán una determinada SNR para cada tamaño y tipo de partícula del sembrado utilizado. Por tanto, ése será el parámetro a estudiar, para conseguir una mayor relación de señal respecto al ruido, sin variar en el resto de especificaciones. Cabe destacar que, mientras el diámetro y distancia del punto de medida de la apertura en recepción hacia delante (DHD) puede ser cualquiera, en la configuración por retrodispersión (RD) existirá siempre la limitación de no ser más grande que la lente de transmisión, como podemos observar en la figura 10.1, por motivos físicos.

### 10.3. Resultados

Presentamos diferentes simulaciones que nos permitirán conocer el comportamiento de los diferentes parámetros de un sistema 2D-LDA, para obtener la SNR reducida en cada punto de una apertura colocada en las dos configuraciones de recepción DHD y RD, y la integrada en función del tamaño y de la distancia entre el punto de medida, de la apertura.

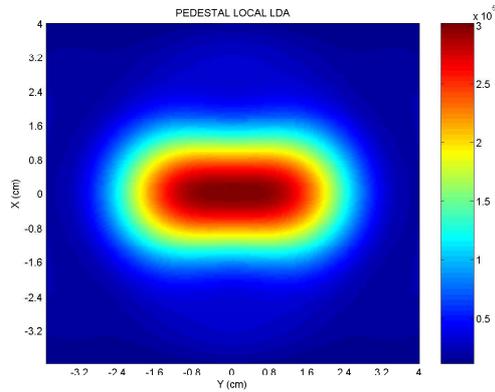
-->**Simulaciones 1-8:** Presentamos los mapas de superficie de la apertura receptora, de la señal Pedestal, Doppler, Fase Doppler, Visibilidad y SNRr, para una apertura de diámetro 8cm, para partículas de tamaño  $a_p=5, 7, 10$  y  $20\mu m$ , en configuración RD y DHD.

-->**Simulaciones 9-10:** Igual que las anteriores pero integrada en función del tamaño de la apertura receptora (de 0.1cm a 8cm).

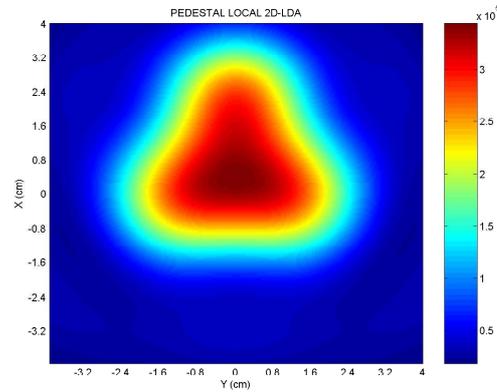
-->**Simulaciones 11-12:** SNRr integrada en función del tamaño de la partícula (de 0.1 a  $20\mu m$ ), para diferentes distancias entre el punto de medida y la lente receptora (120mm, 250mm y 600mm).

## SIMULACIÓN 1

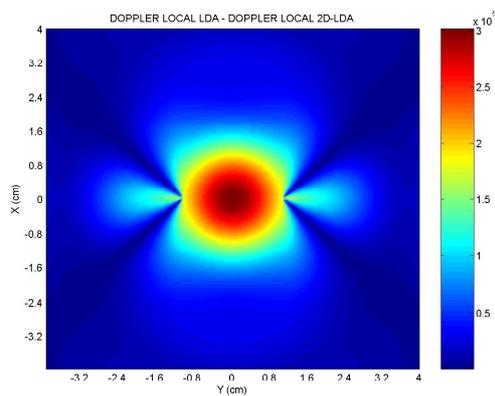
Cálculo de las señales locales Pedestal, Doppler, Fase Doppler, Visibilidad y SNR reducida, para un sistema LDA de una dimensión y para un sistema 2D-LDA, en DHD (Detección hacia delante), en cada punto de una apertura receptora de diámetro  $D_{DHD} = 4cm$ , para una partícula (*PSP*) de tamaño  $a_p = 5\mu m$ , con una distancia punto medida-apertura receptora  $R_{DHD} = 250mm$ .



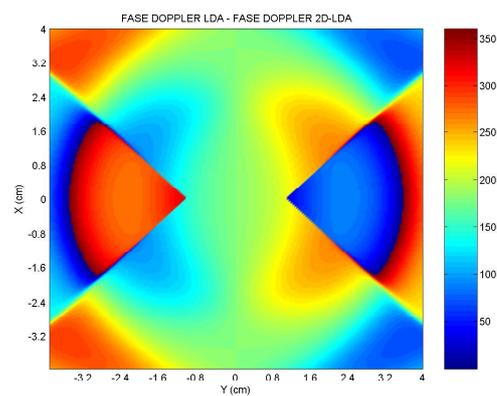
**Figura 10.2** Pedestal Local LDA para una partícula de  $a_p = 5\mu m$  en recepción DHD



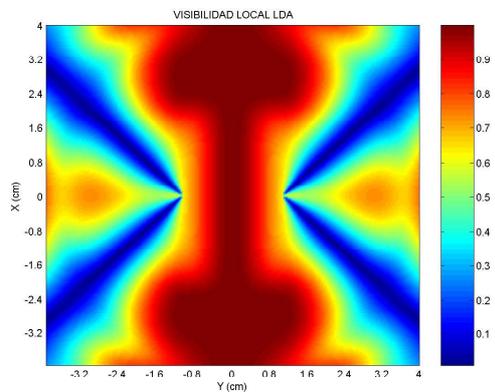
**Figura 10.5** Pedestal Local 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 5\mu m$  en recepción DHD



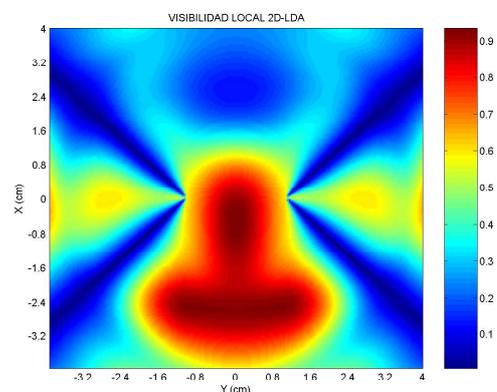
**Figura 10.3** Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 5\mu m$  en recepción DHD



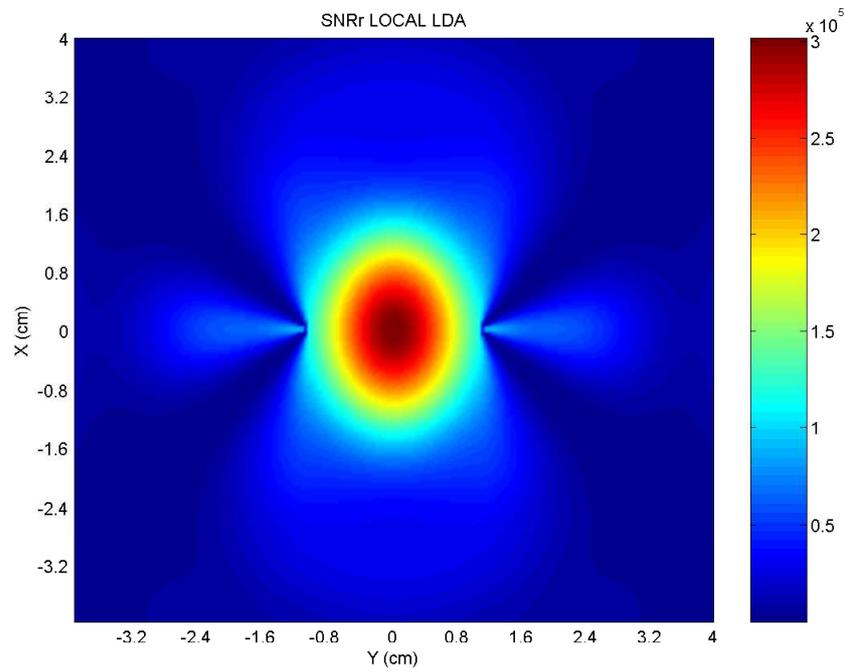
**Figura 10.6** Fase Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 5\mu m$  en recepción DHD



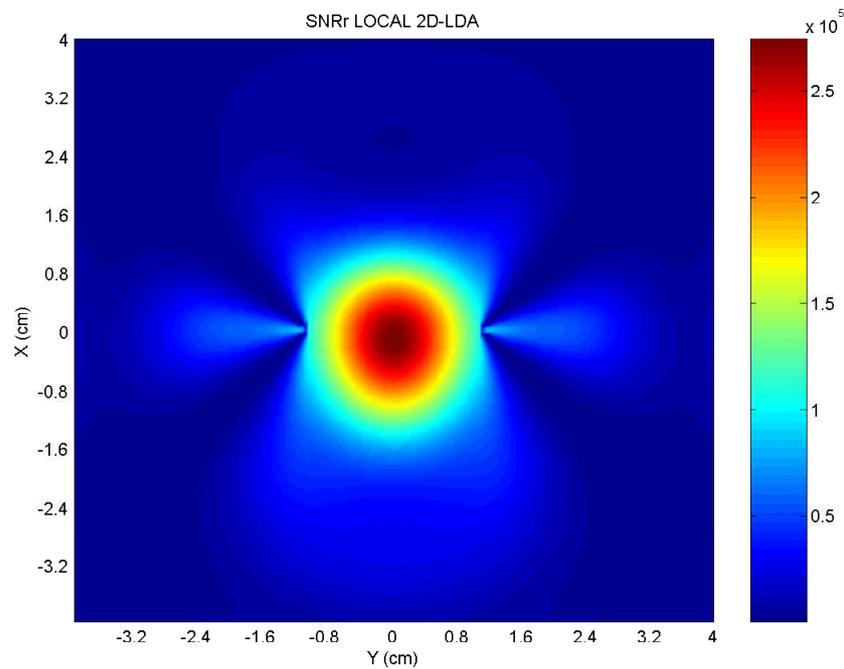
**Figura 10.4** Visibilidad Local LDA para una partícula de  $a_p = 5\mu m$  en recepción DHD



**Figura 10.7** Visibilidad Local 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 5\mu m$  en recepción DHD



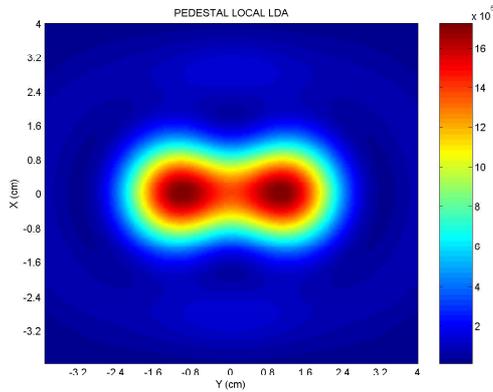
**Figura 10.8**  $SNR_r$  Local LDA para una partícula de  $a_p = 5\mu m$  en recepción DHD



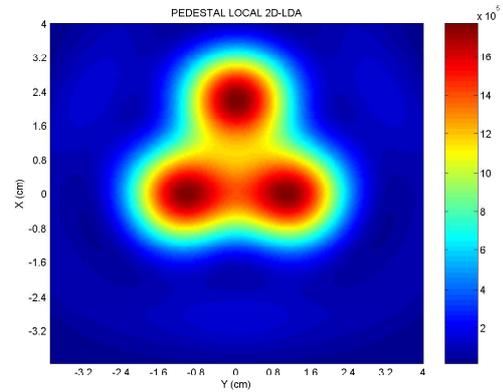
**Figura 10.9**  $SNR_r$  Local 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 5\mu m$  en recepción DHD

## SIMULACIÓN 2

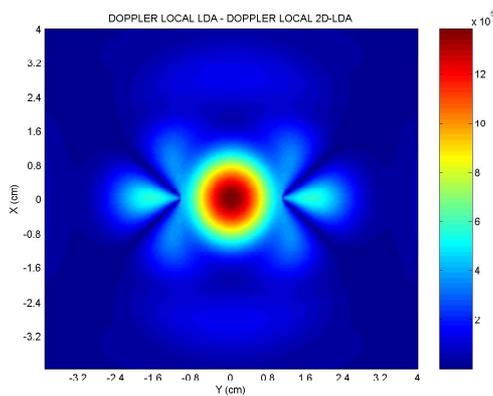
Cálculo de las señales locales Pedestal, Doppler, Fase Doppler, Visibilidad y SNR reducida, para un sistema LDA de una dimensión y para un sistema 2D-LDA, en DHD (Detección hacia delante), en cada punto de una apertura receptora de diámetro  $D_{DHD} = 4cm$ , para una partícula (*PSP*) de tamaño  $a_p = 7\mu m$ , con una distancia punto medida-apertura receptora  $R_{DHD} = 250mm$ .



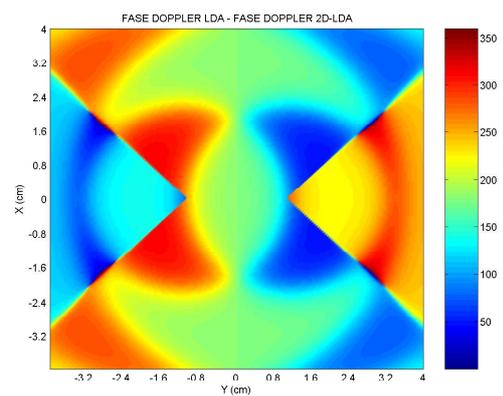
**Figura 10.10** Pedestal Local LDA para una partícula de  $a_p = 7\mu m$  en recepción DHD



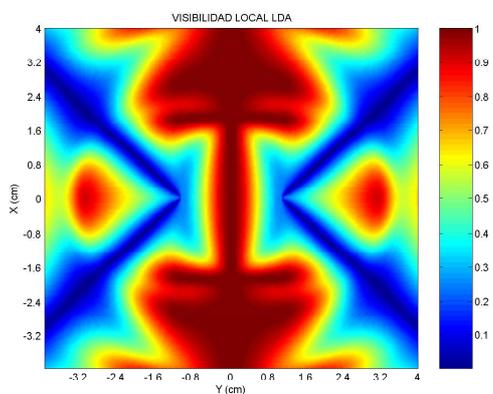
**Figura 10.13** Pedestal Local 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 7\mu m$  en recepción DHD



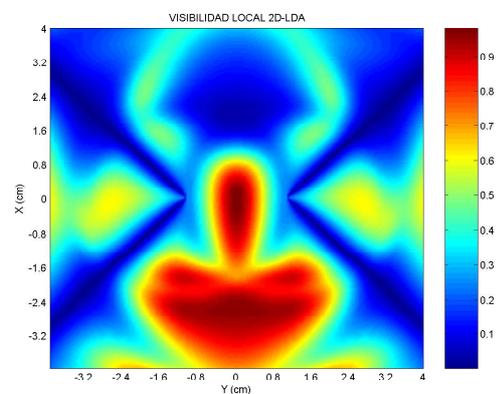
**Figura 10.11** Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 7\mu m$  en recepción DHD



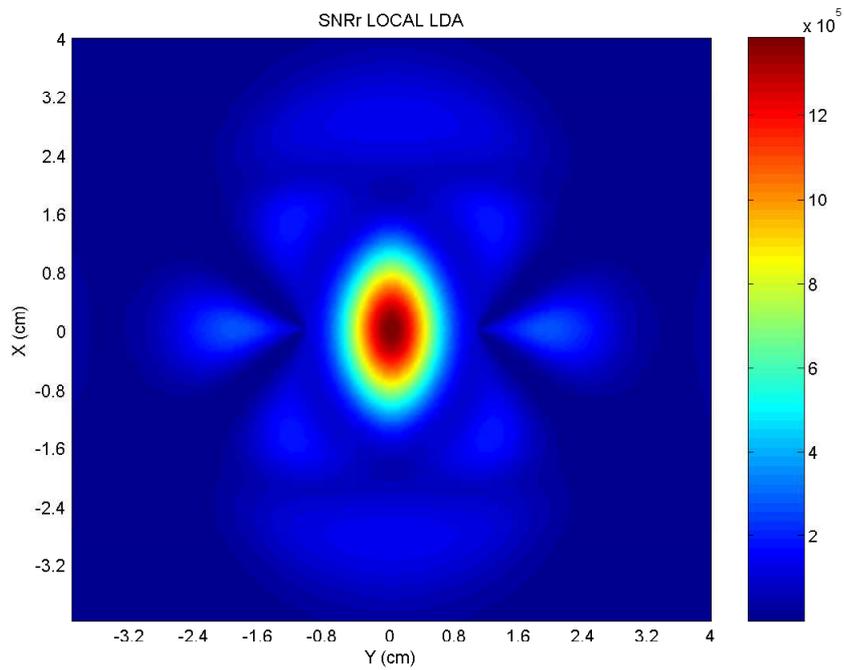
**Figura 10.14** Fase Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 7\mu m$  en recepción DHD



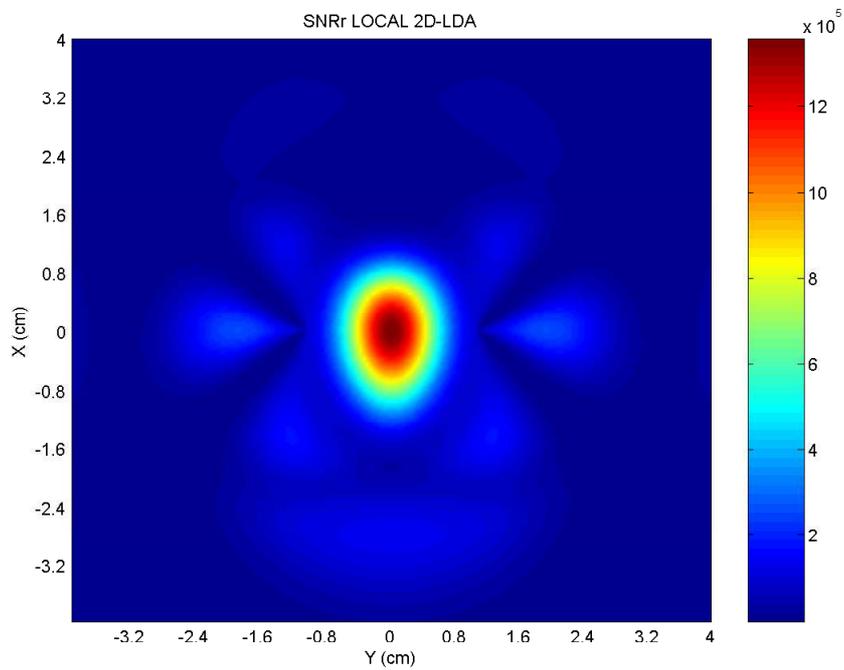
**Figura 10.12** Visibilidad Local LDA para una partícula de  $a_p = 7\mu m$  en recepción DHD



**Figura 10.15** Visibilidad Local 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 7\mu m$  en recepción DHD



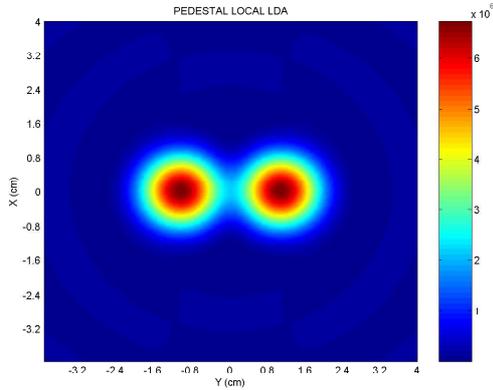
**Figura 10.16**  $SNR_r$  Local LDA para una partícula de  $a_p = 7\mu m$  en recepción DHD



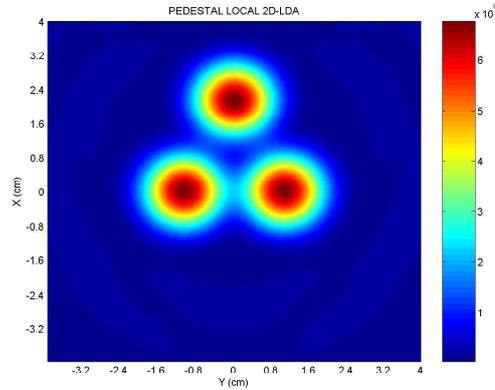
**Figura 10.17**  $SNR_r$  Local 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 7\mu m$  en recepción DHD

## SIMULACIÓN 3

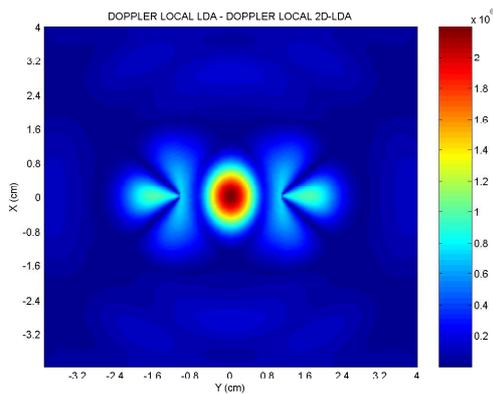
Cálculo de las señales locales Pedestal, Doppler, Fase Doppler, Visibilidad y SNR reducida, para un sistema LDA de una dimensión y para un sistema 2D-LDA, en DHD (Detección hacia delante), en cada punto de una apertura receptora de diámetro  $D_{DHD} = 4cm$ , para una partícula (*PSP*) de tamaño  $a_p = 10\mu m$ , con una distancia punto medida-apertura receptora  $R_{DHD} = 250mm$ .



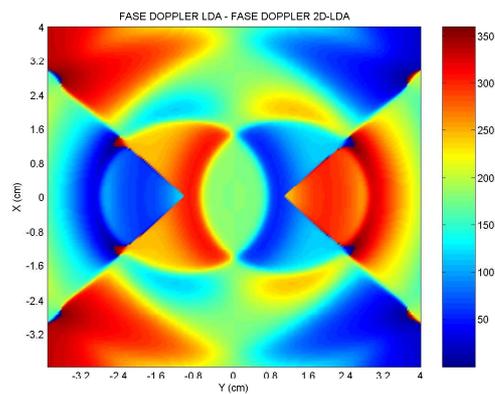
**Figura 10.18** Pedestal Local LDA para una partícula de  $a_p = 10\mu m$  en recepción DHD



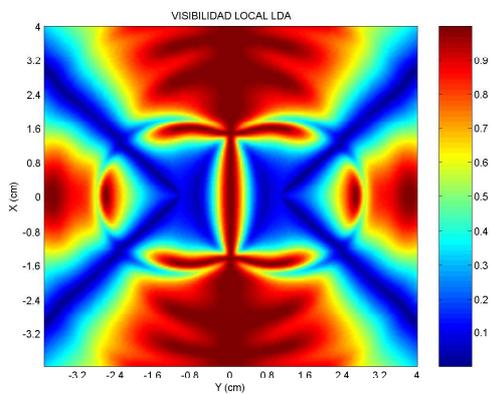
**Figura 10.21** Pedestal Local 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 10\mu m$  en recepción DHD



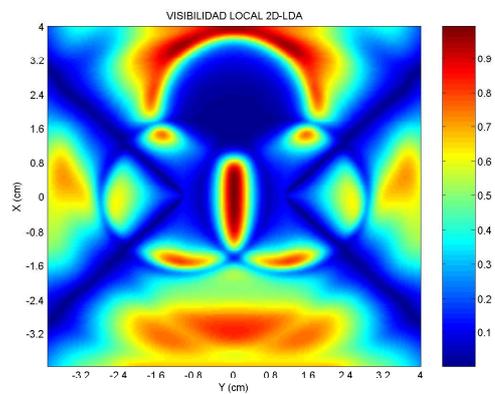
**Figura 10.19** Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 10\mu m$  en recepción DHD



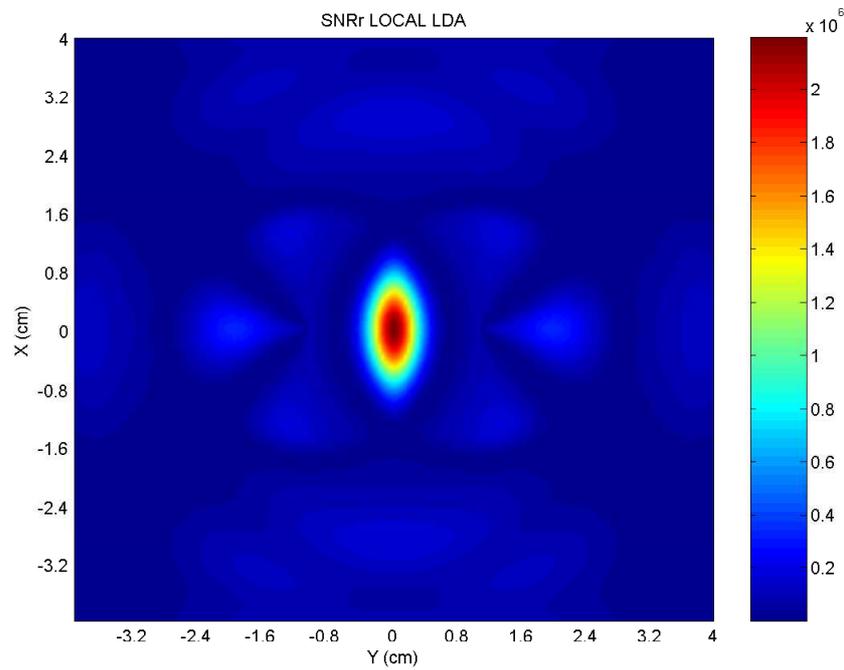
**Figura 10.22** Fase Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 10\mu m$  en recepción DHD



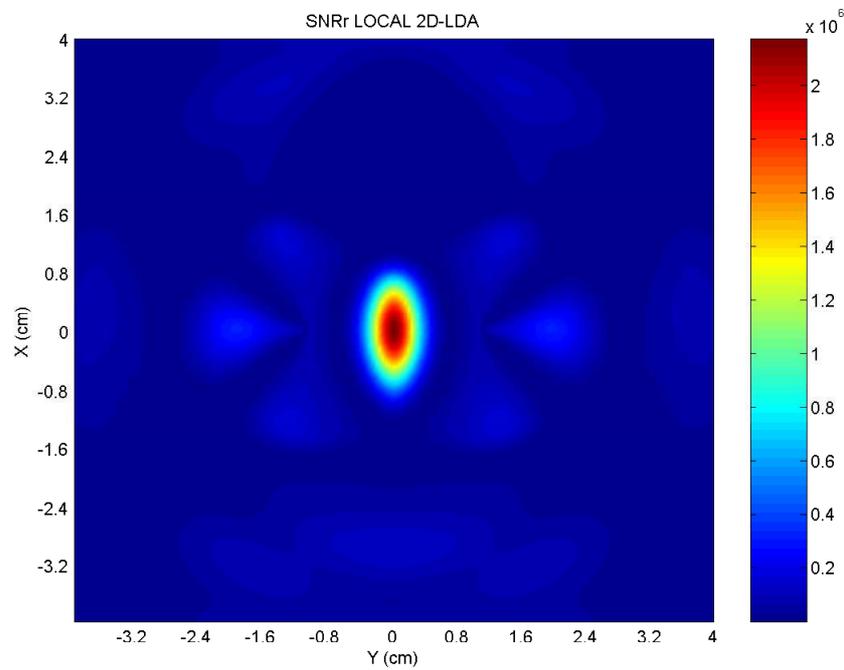
**Figura 10.20** Visibilidad Local LDA para una partícula de  $a_p = 10\mu m$  en recepción DHD



**Figura 10.23** Visibilidad Local 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 10\mu m$  en recepción DHD



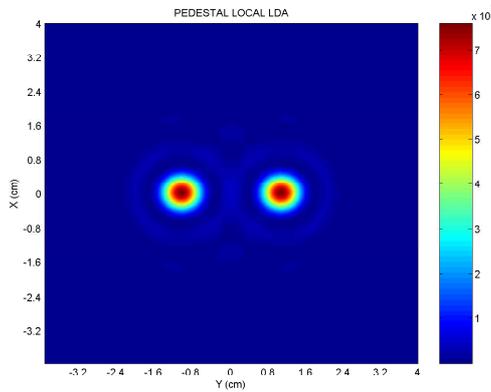
**Figura 10.24**  $SNR_r$  Local LDA para una partícula de  $a_p = 10\mu m$  en recepción DHD



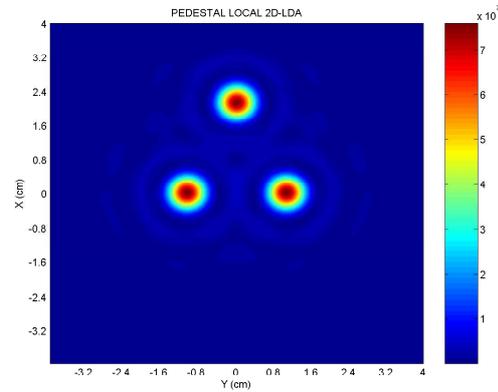
**Figura 10.25**  $SNR_r$  Local 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 10\mu m$  en recepción DHD

## SIMULACIÓN 4

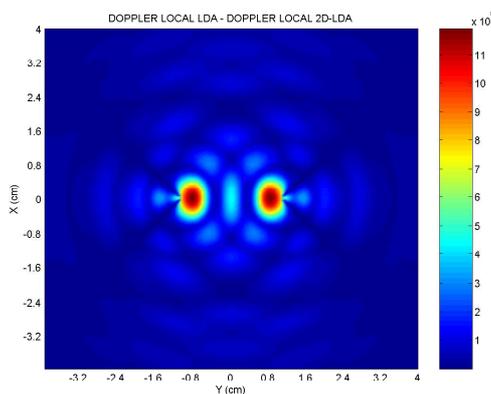
Cálculo de las señales locales Pedestal, Doppler, Fase Doppler, Visibilidad y SNR reducida, para un sistema LDA de una dimensión y para un sistema 2D-LDA, en DHD (Detección hacia delante), en cada punto de una apertura receptora de diámetro  $D_{DHD} = 4cm$ , para una partícula (*PSP*) de tamaño  $a_p = 20\mu m$ , con una distancia punto medida-apertura receptora  $R_{DHD} = 250mm$ .



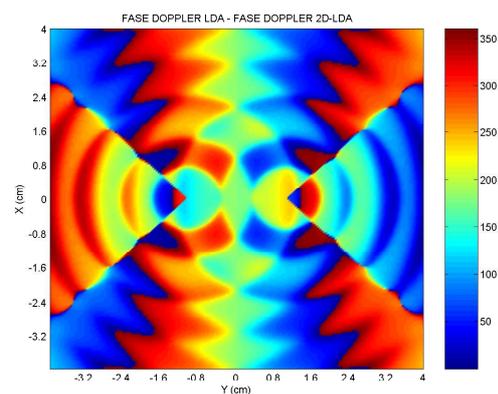
**Figura 10.26** Pedestal Local LDA para una partícula de  $a_p = 20\mu m$  en recepción DHD



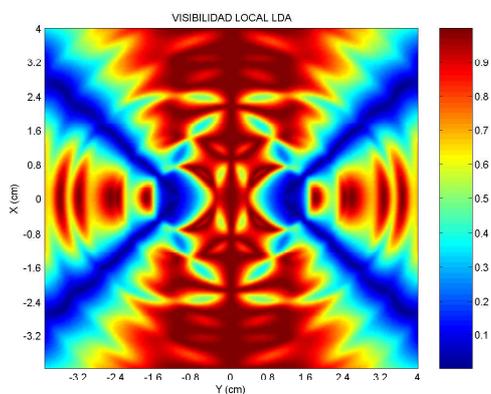
**Figura 10.29** Pedestal Local 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 20\mu m$  en recepción DHD



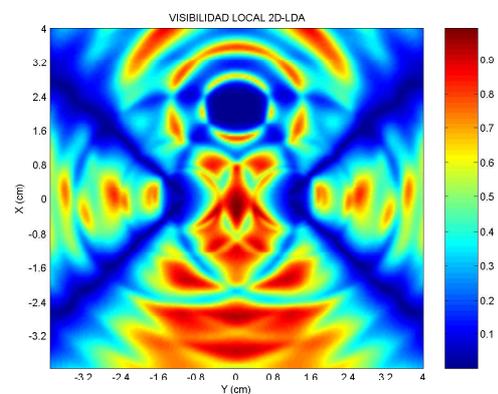
**Figura 10.27** Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 20\mu m$  en recepción DHD



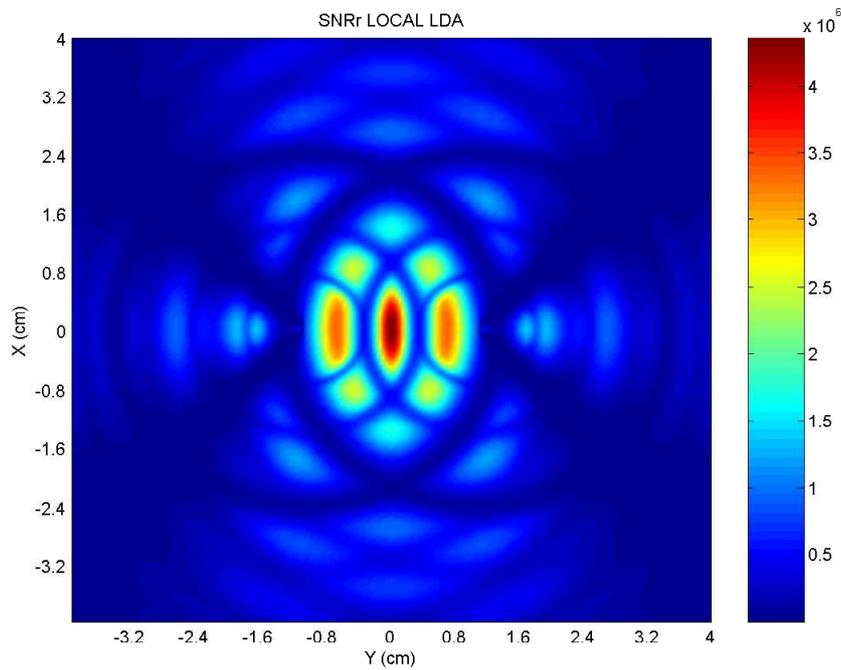
**Figura 10.30** Fase Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 20\mu m$  en recepción DHD



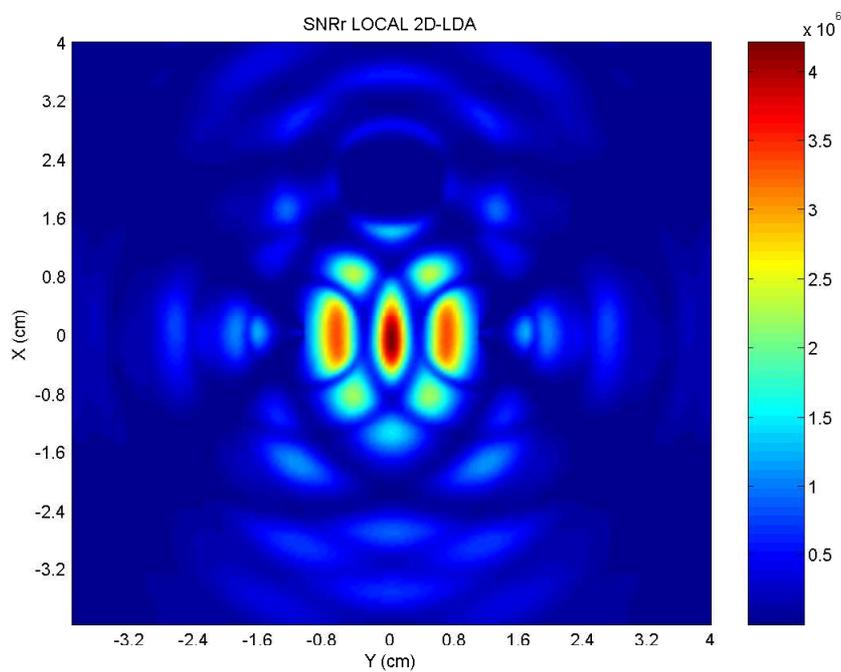
**Figura 10.28** Visibilidad Local LDA para una partícula de  $a_p = 20\mu m$  en recepción DHD



**Figura 10.31** Visibilidad Local 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 20\mu m$  en recepción DHD



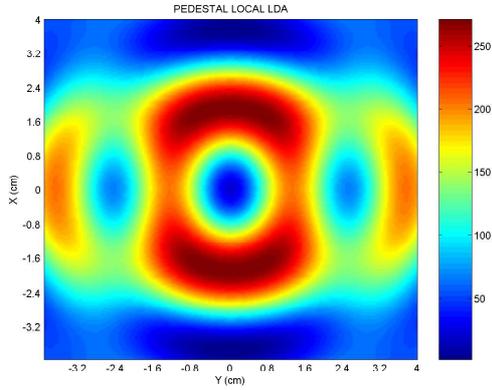
**Figura 10.32**  $SNR_r$  Local LDA para una partícula de  $a_p = 20\mu m$  en recepción DHD



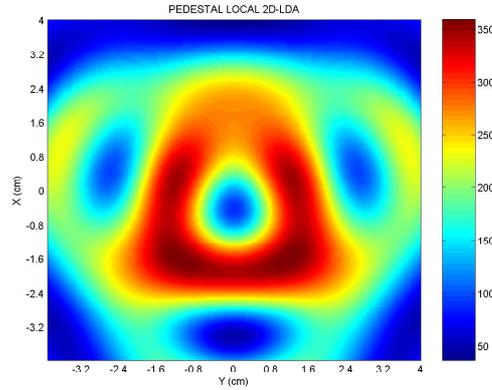
**Figura 10.33**  $SNR_r$  Local 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 20\mu m$  en recepción DHD

## SIMULACIÓN 5

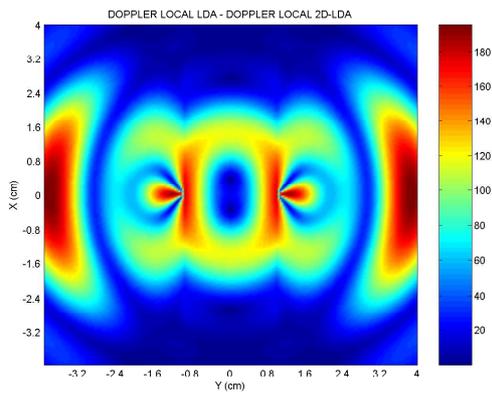
Cálculo de las señales locales Pedestal, Doppler, Fase Doppler, Visibilidad y SNR reducida, para un sistema LDA de una dimensión y para un sistema 2D-LDA, en RD (Retrodispersión), en cada punto de una apertura receptora de diámetro  $D_{RD} = 4cm$ , para una partícula (*PSP*) de tamaño  $a_p = 5\mu m$ , con una distancia punto medida-apertura receptora  $R_{RD} = 250mm$ .



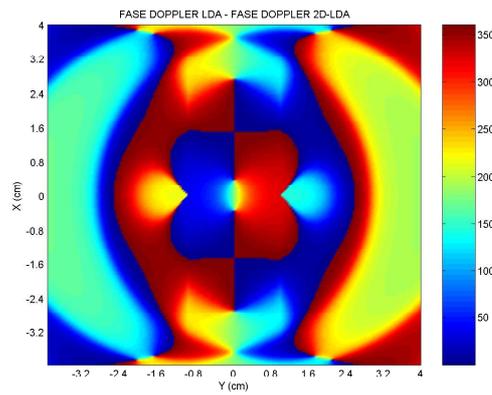
**Figura 10.34** Pedestal Local LDA para una partícula de  $a_p = 5\mu m$  en recepción RD



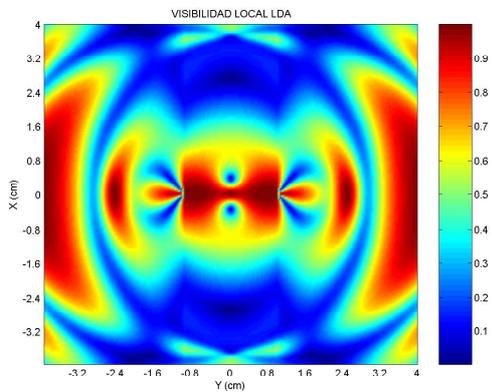
**Figura 10.37** Pedestal Local 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 5\mu m$  en recepción RD



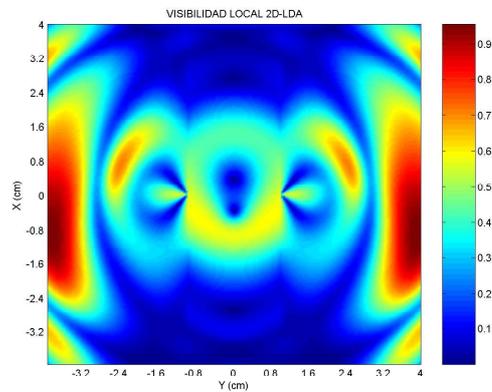
**Figura 10.35** Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 5\mu m$  en recepción RD



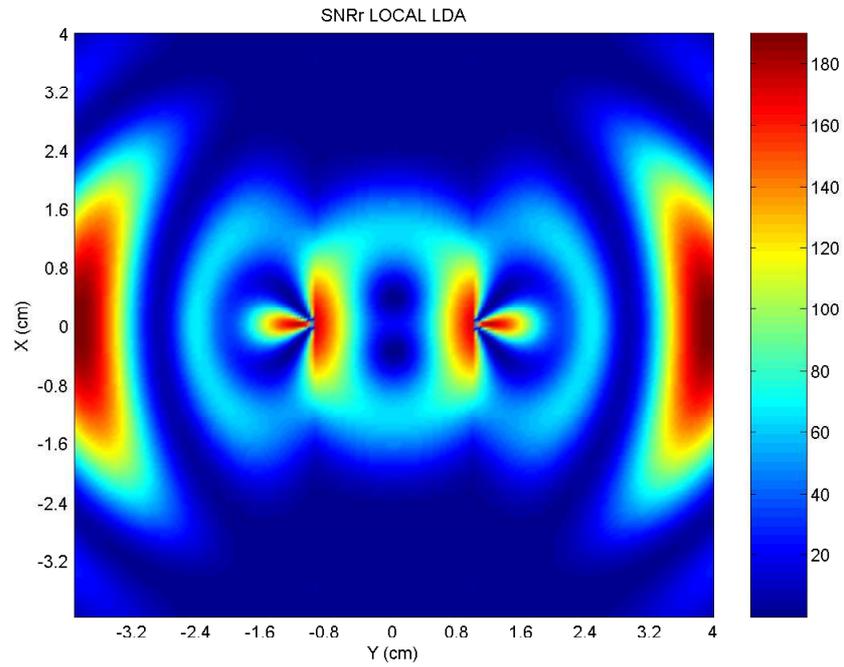
**Figura 10.38** Fase Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 5\mu m$  en recepción RD



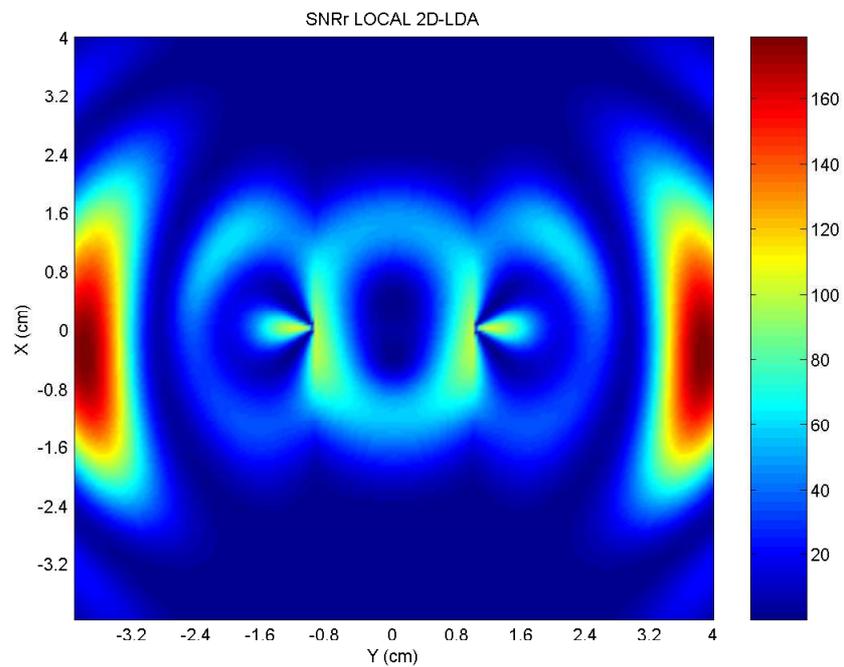
**Figura 10.36** Visibilidad Local LDA para una partícula de  $a_p = 5\mu m$  en recepción RD



**Figura 10.39** Visibilidad Local 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 5\mu m$  en recepción RD



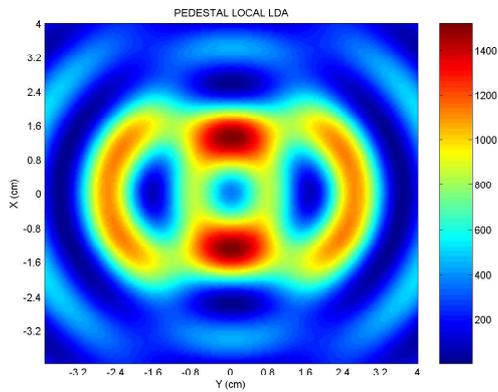
**Figura 10.40**  $SNR_r$  Local LDA para una partícula de  $a_p = 5\mu m$  en recepción RD



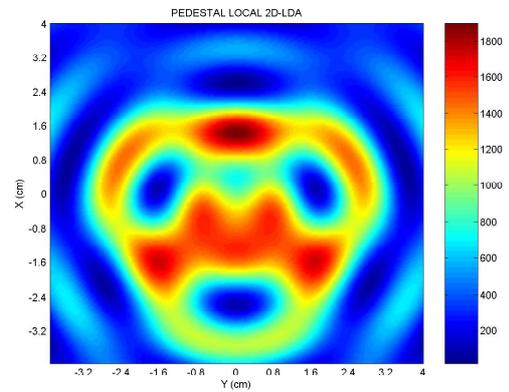
**Figura 10.41**  $SNR_r$  Local 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 5\mu m$  en recepción RD

## SIMULACIÓN 6

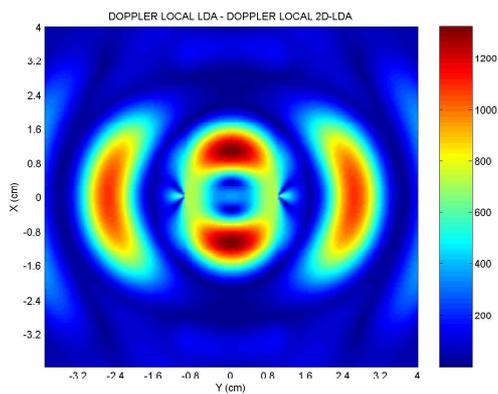
Cálculo de las señales locales Pedestal, Doppler, Fase Doppler, Visibilidad y SNR reducida, para un sistema LDA de una dimensión y para un sistema 2D-LDA, en RD (Retrodispersión), en cada punto de una apertura receptora de diámetro  $D_{RD} = 4cm$ , para una partícula (*PSP*) de tamaño  $a_p = 7\mu m$ , con una distancia punto medida-apertura receptora  $R_{RD} = 250mm$ .



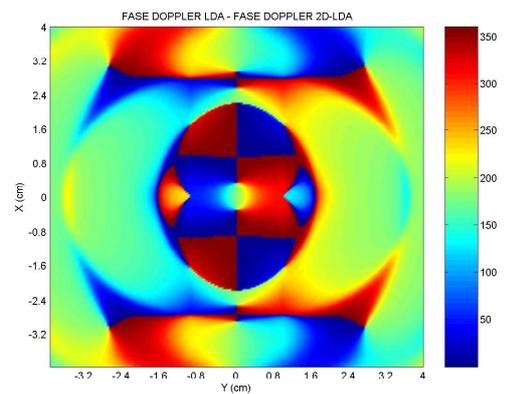
**Figura 10.42** Pedestal Local LDA para una partícula de  $a_p = 7\mu m$  en recepción RD



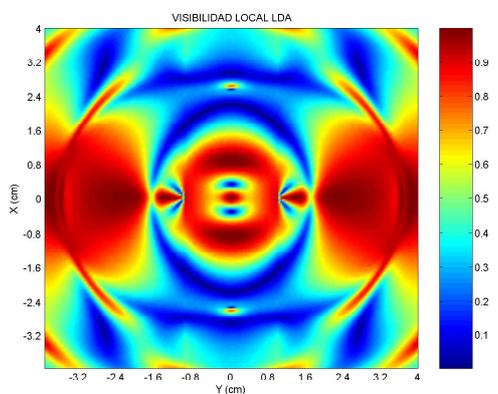
**Figura 10.45** Pedestal Local 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 7\mu m$  en recepción RD



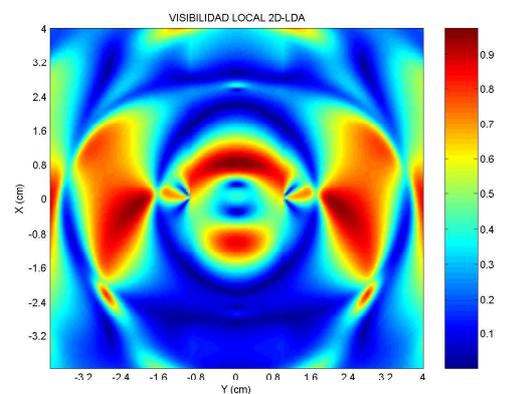
**Figura 10.43** Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 7\mu m$  en recepción RD



**Figura 10.46** Fase Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 7\mu m$  en recepción RD



**Figura 10.44** Visibilidad Local LDA para una partícula de  $a_p = 7\mu m$  en recepción RD



**Figura 10.47** Visibilidad Local 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 7\mu m$  en recepción RD

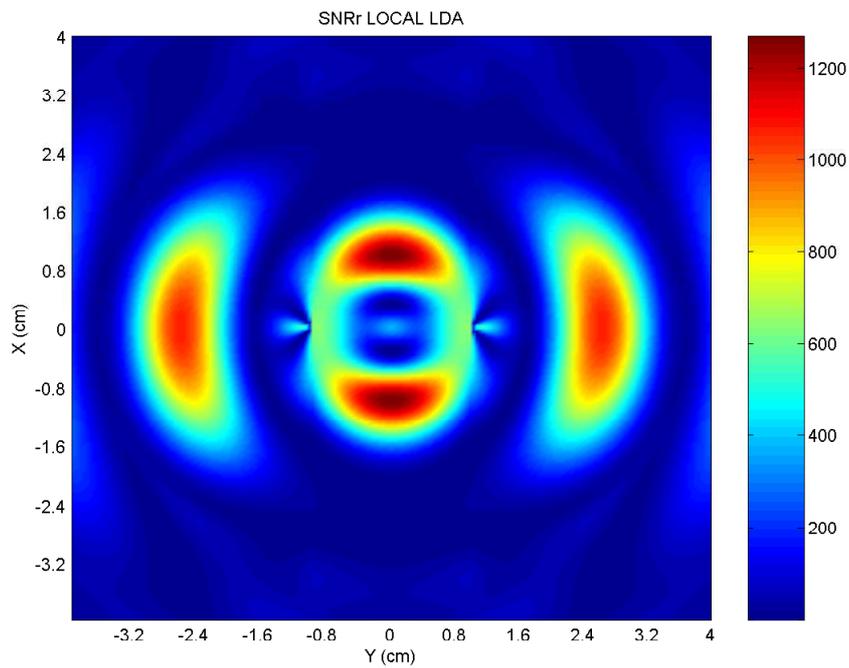


Figura 10.48  $SNR_r$  Local LDA para una partícula de  $a_p = 7\mu m$  en recepción RD

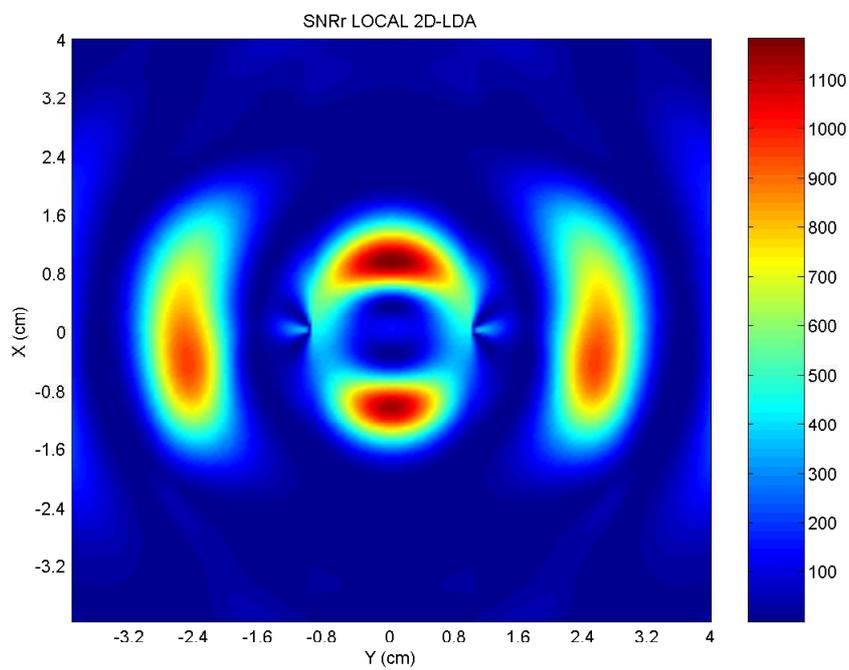
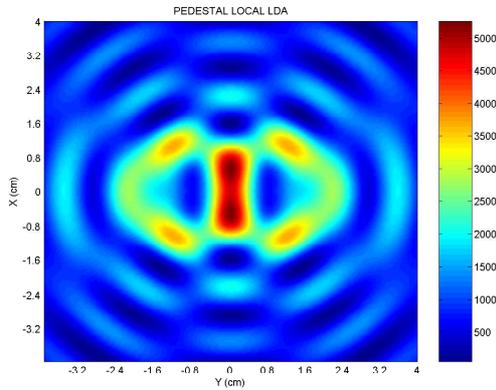


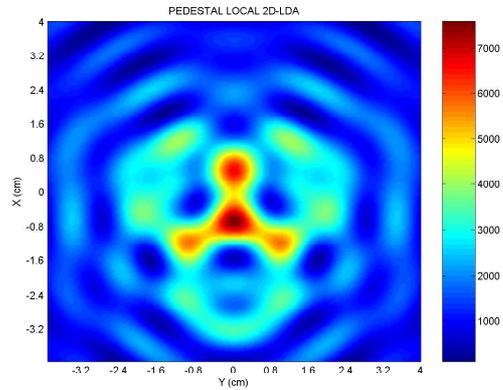
Figura 10.49  $SNR_r$  Local 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 7\mu m$  en recepción RD

## SIMULACIÓN 7

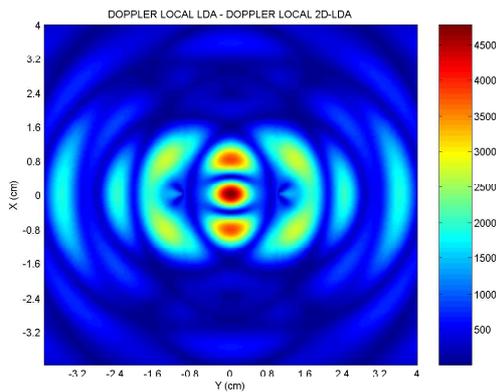
Cálculo de las señales locales Pedestal, Doppler, Fase Doppler, Visibilidad y SNR reducida, para un sistema LDA de una dimensión y para un sistema 2D-LDA, en RD (Retrodispersión), en cada punto de una apertura receptora de diámetro  $D_{RD} = 4cm$ , para una partícula (*PSP*) de tamaño  $a_p = 10\mu m$ , con una distancia punto medida-apertura receptora  $R_{RD} = 250mm$ .



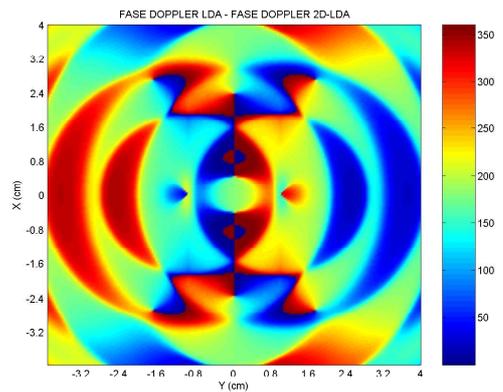
**Figura 10.50** Pedestal Local LDA para una partícula de  $a_p = 10\mu m$  en recepción RD



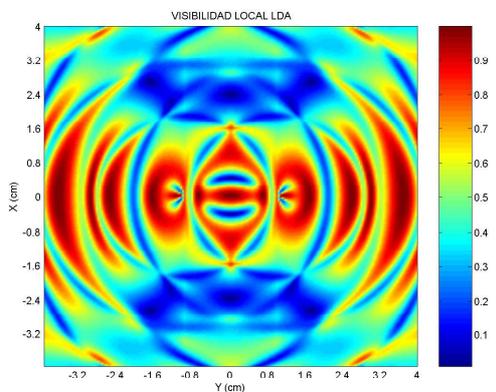
**Figura 10.53** Pedestal Local 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 10\mu m$  en recepción RD



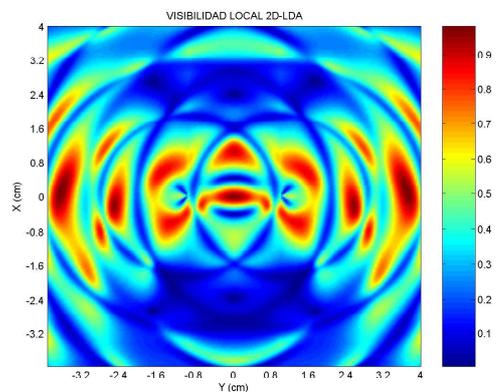
**Figura 10.51** Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 10\mu m$  en recepción RD



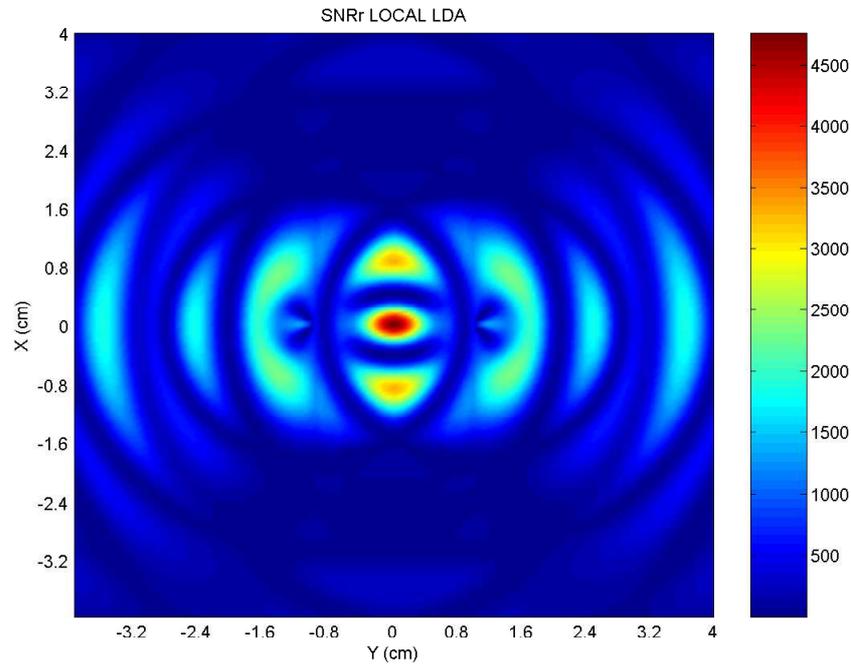
**Figura 10.54** Fase Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 10\mu m$  en recepción RD



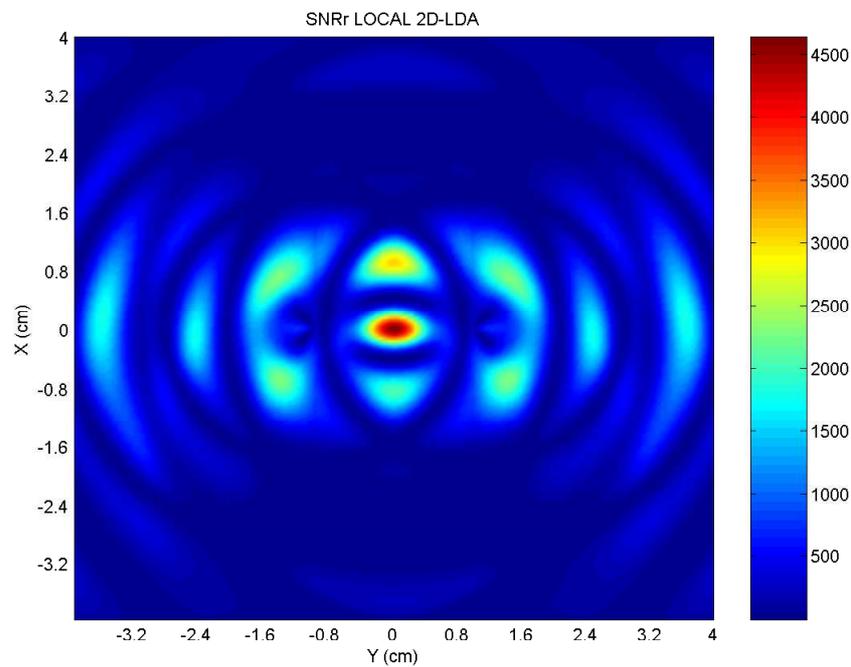
**Figura 10.52** Visibilidad Local LDA para una partícula de  $a_p = 10\mu m$  en recepción RD



**Figura 10.55** Visibilidad Local 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 10\mu m$  en recepción RD



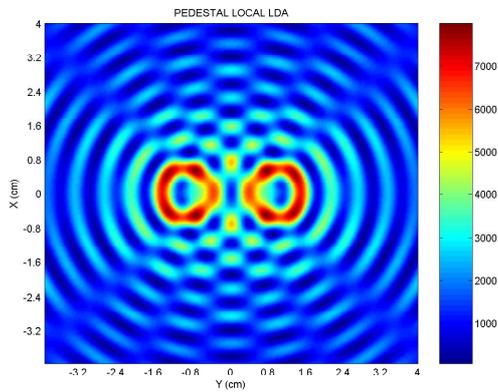
**Figura 10.56**  $SNR_r$  Local LDA para una partícula de  $a_p = 10\mu m$  en recepción RD



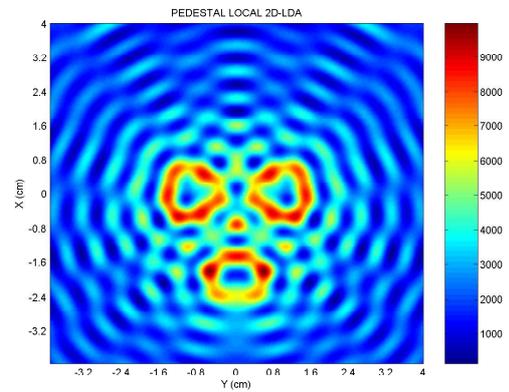
**Figura 10.57**  $SNR_r$  Local 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 10\mu m$  en recepción RD

## SIMULACIÓN 8

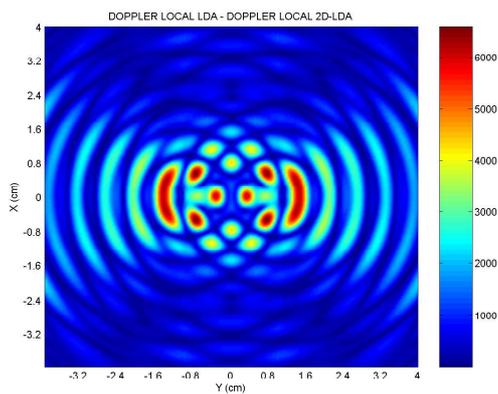
Cálculo de las señales locales Pedestal, Doppler, Fase Doppler, Visibilidad y SNR reducida, para un sistema LDA de una dimensión y para un sistema 2D-LDA, en RD (Retrodispersión), en cada punto de una apertura receptora de diámetro  $D_{RD} = 4cm$ , para una partícula (*PSP*) de tamaño  $a_p = 20\mu m$ , con una distancia punto medida-apertura receptora  $R_{RD} = 250mm$ .



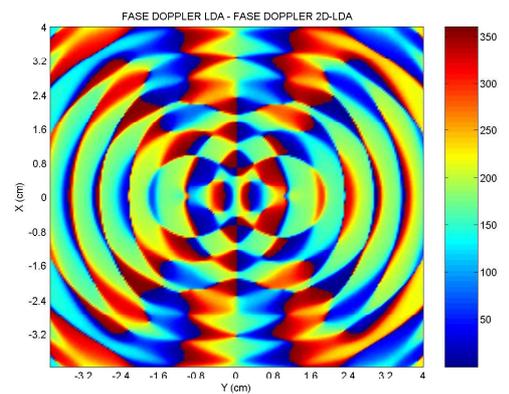
**Figura 10.58** Pedestal Local LDA para una partícula de  $a_p = 20\mu m$  en recepción RD



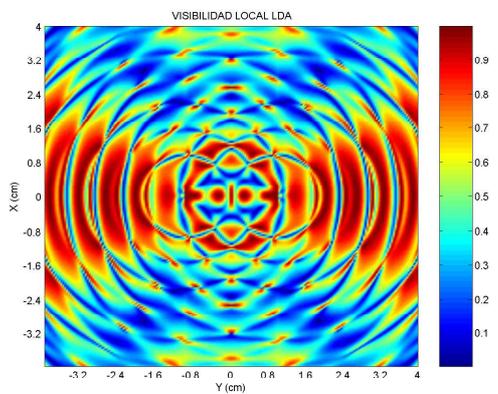
**Figura 10.61** Pedestal Local 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 20\mu m$  en recepción RD



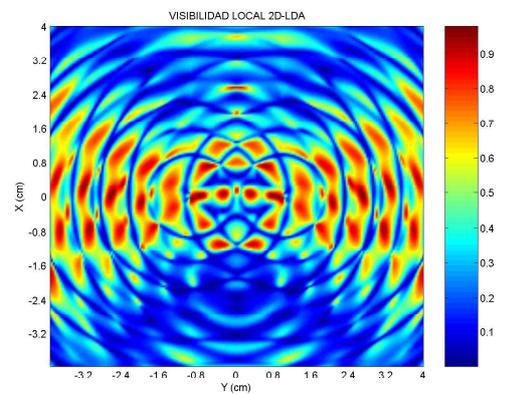
**Figura 10.59** Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 20\mu m$  en recepción RD



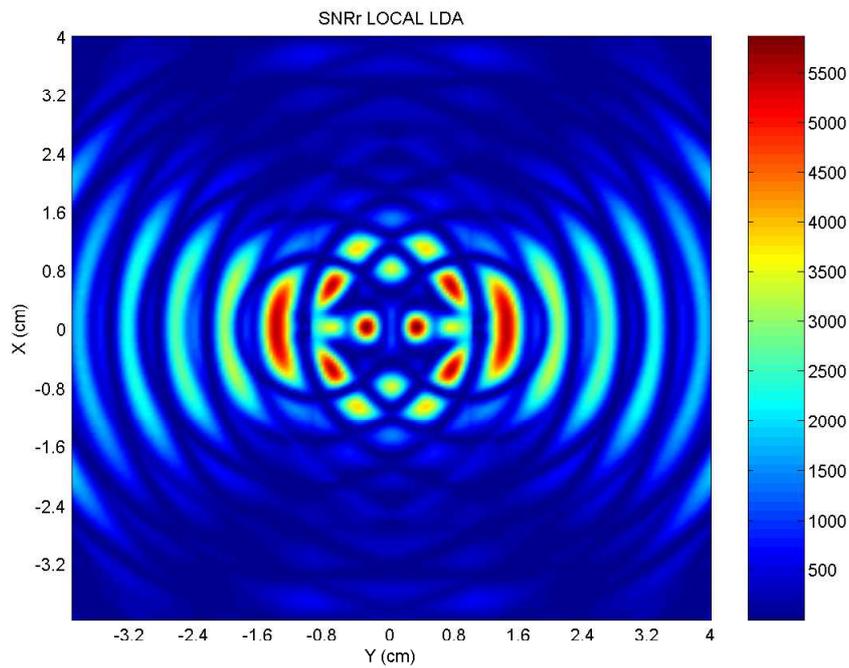
**Figura 10.62** Fase Doppler Local LDA y 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 20\mu m$  en recepción RD



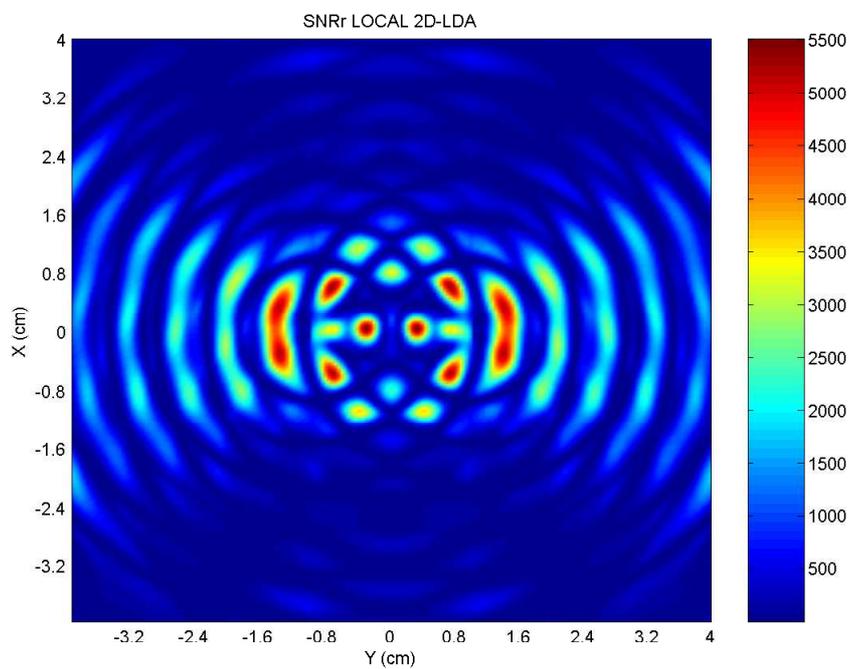
**Figura 10.60** Visibilidad Local LDA para una partícula de  $a_p = 20\mu m$  en recepción RD



**Figura 10.63** Visibilidad Local 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 20\mu m$  en recepción RD



**Figura 10.64**  $SNR_r$  Local LDA para una partícula de  $a_p = 20\mu m$  en recepción RD



**Figura 10.65**  $SNR_r$  Local 2D-LDA para una partícula de  $a_p = 20\mu m$  en recepción RD

## SIMULACIÓN 9

Cálculo de las señales Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNR reducida, para un sistema LDA de una dimensión y para un sistema 2D-LDA, en DHD (Detección hacia delante)), en función del diámetro de la apertura receptora  $D_{DHD} = 0,1cm \div 2cm$ , para una partícula (*PSP*) de tamaño  $a_p = 5\mu m$ ,  $a_p = 7\mu m$ ,  $a_p = 10\mu m$  y  $a_p = 20\mu m$ , con una distancia punto medida-apertura receptora  $R_{DHD} = 250mm$ .

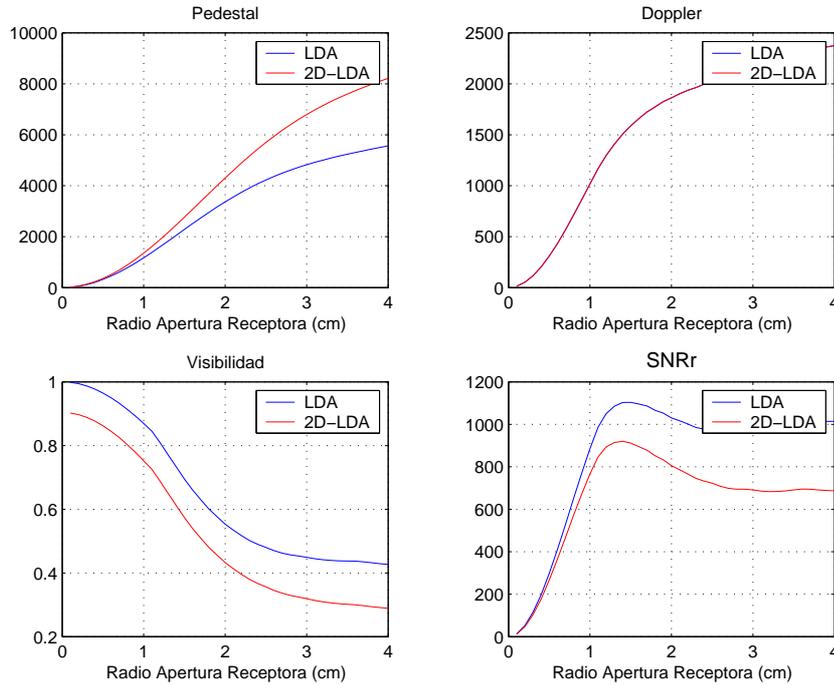


Figura 10.66 Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNRr total en un sistema LDA y 2D-LDA, para una partícula de  $a_p = 5\mu m$  en recepción DHD

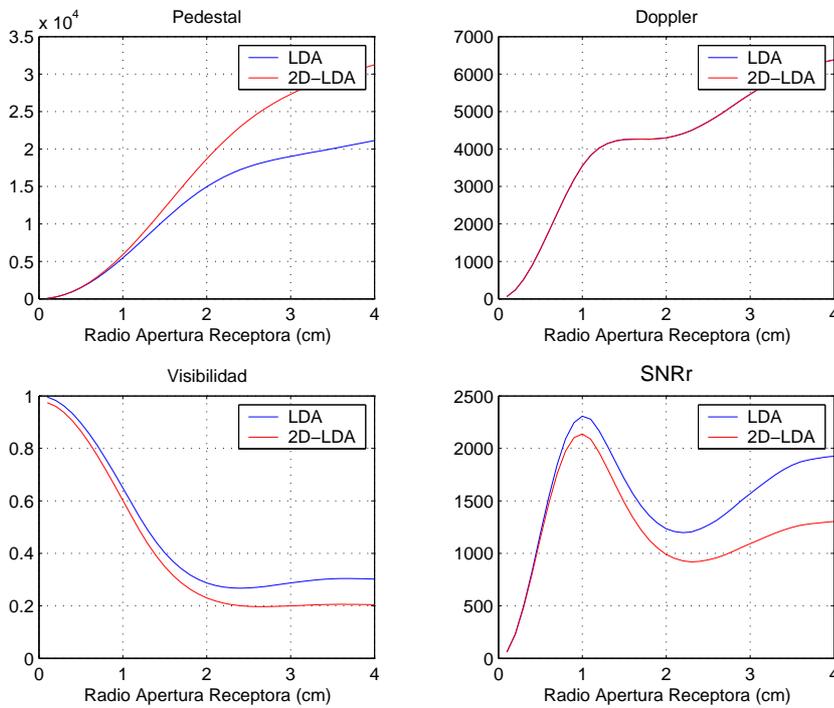
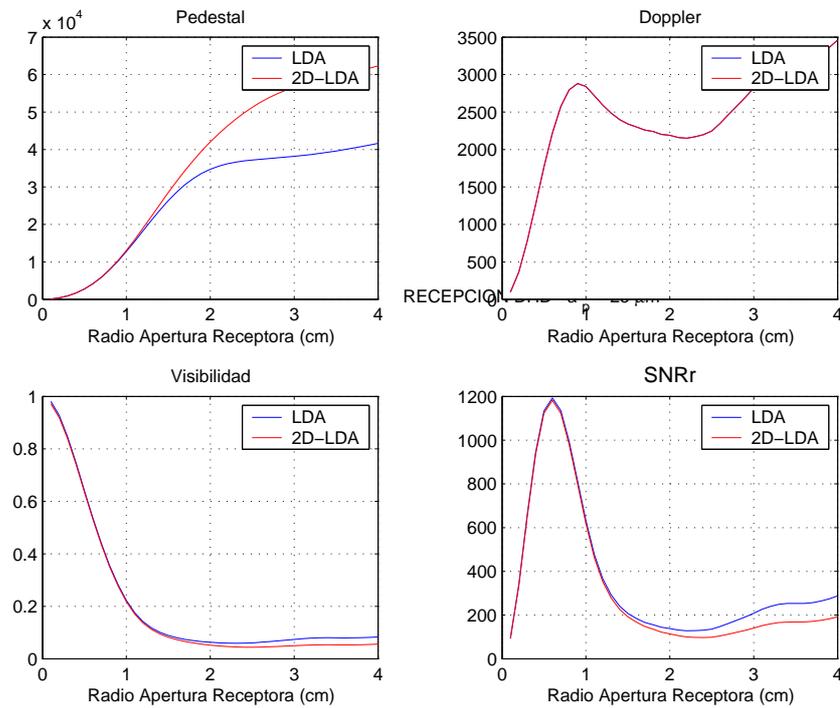
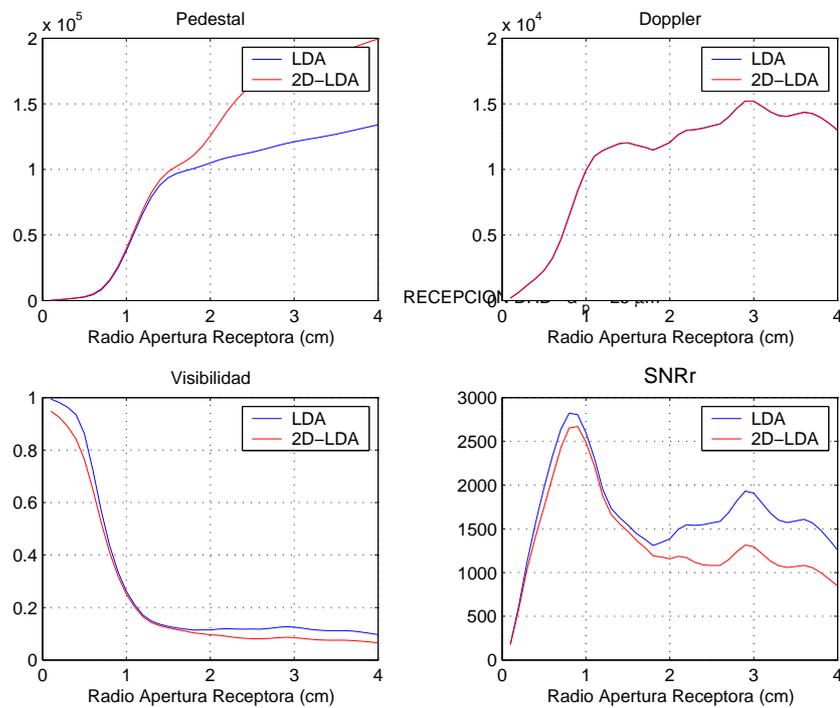


Figura 10.67 Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNRr total en un sistema LDA y 2D-LDA, para una partícula de  $a_p = 7\mu m$  en recepción DHD



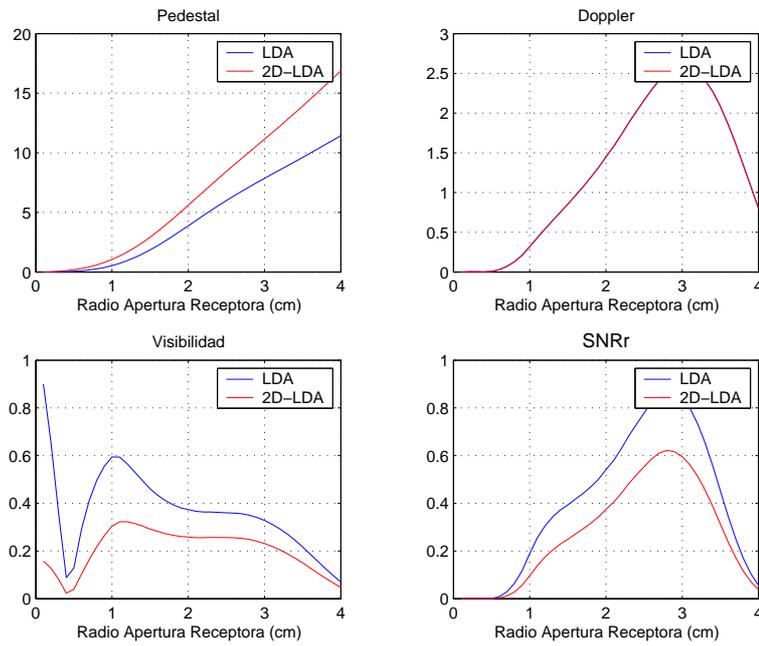
**Figura 10.68** Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNRr total en un sistema LDA y 2D-LDA, para una partícula de  $a_p = 10 \mu m$  en recepción DHD



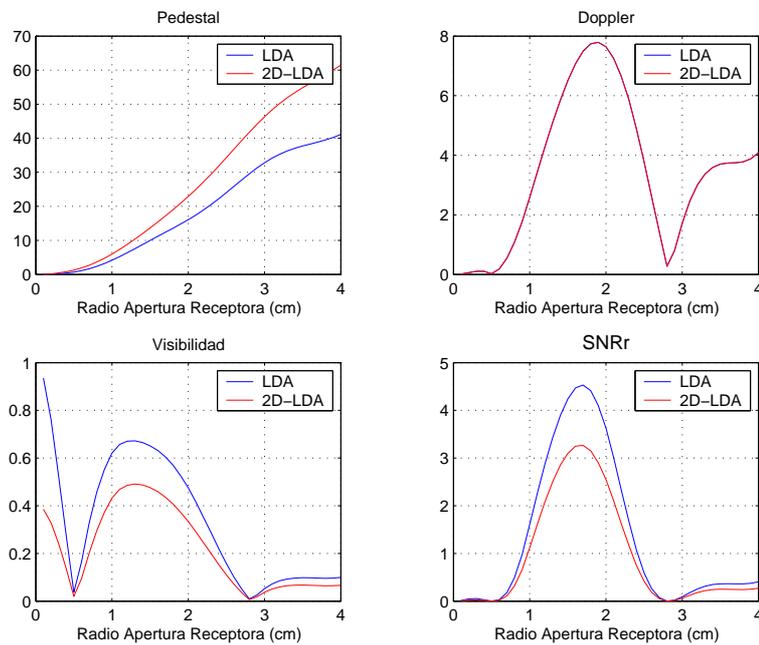
**Figura 10.69** Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNRr total en un sistema LDA y 2D-LDA, para una partícula de  $a_p = 20 \mu m$  en recepción DHD

## SIMULACIÓN 10

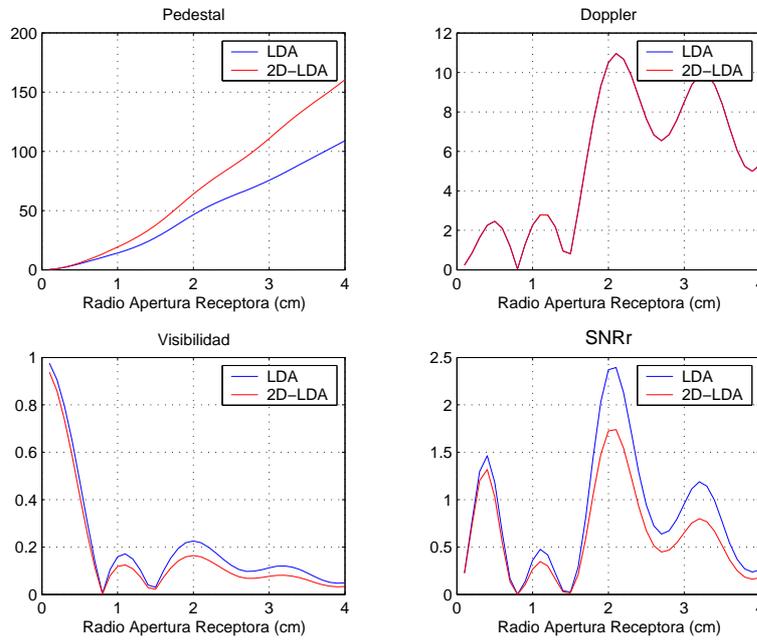
Cálculo de las señales Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNR reducida, para un sistema LDA de una dimensión y para un sistema 2D-LDA, en RD (Detección hacia delante), en función del diámetro de la apertura receptora  $D_{RD} = 0,1cm \div 2cm$ , para una partícula (*PSP*) de tamaño  $a_p = 5\mu m$ ,  $a_p = 7\mu m$ ,  $a_p = 10\mu m$  y  $a_p = 20\mu m$ , con una distancia punto medida-apertura receptora  $R_{RD} = 250mm$ .



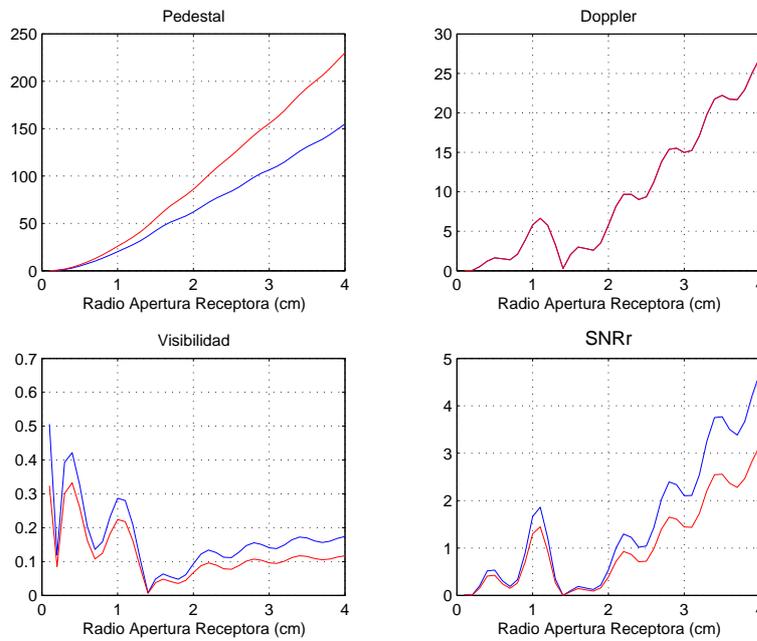
**Figura 10.70** Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNRr total en un sistema LDA y 2D-LDA, para una partícula de  $a_p = 5\mu m$  en recepción RD



**Figura 10.71** Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNRr total en un sistema LDA y 2D-LDA, para una partícula de  $a_p = 7\mu m$  en recepción RD



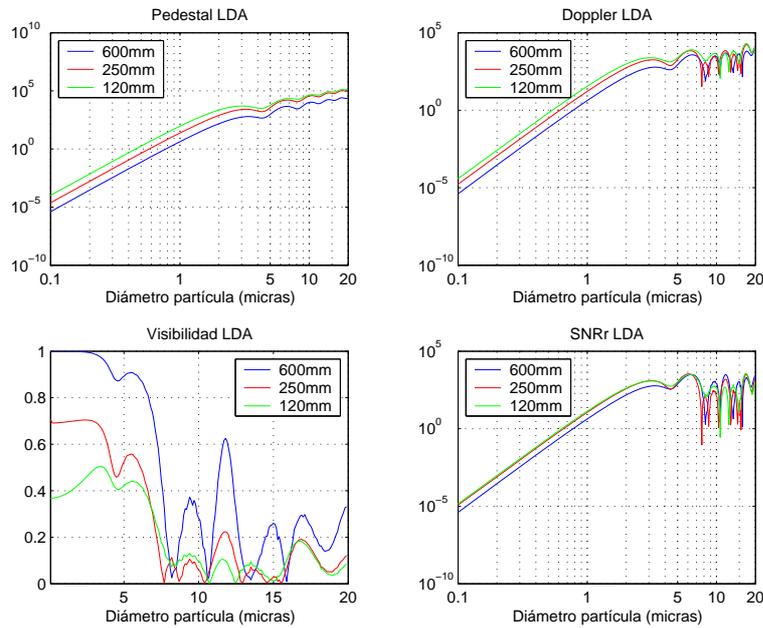
**Figura 10.72** Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNRr total en un sistema LDA y 2D-LDA, para una partícula de  $a_p = 10\mu m$  en recepción RD



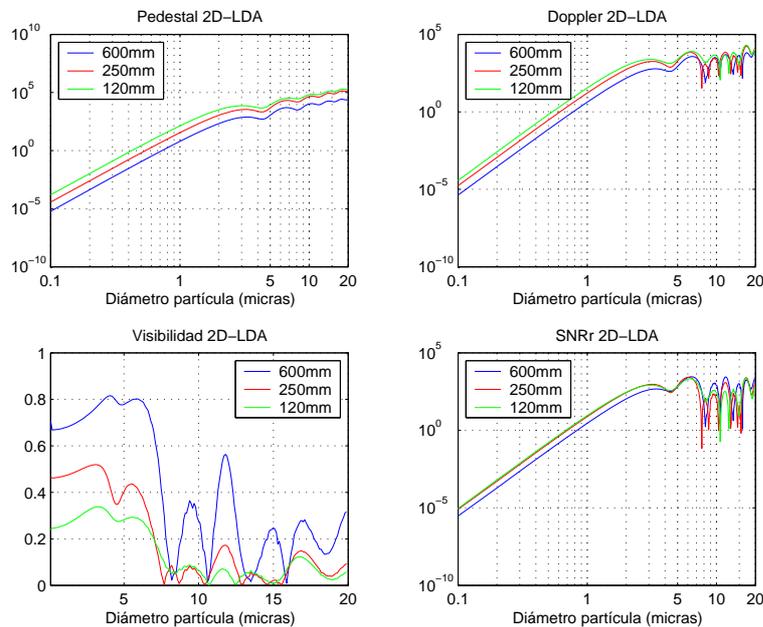
**Figura 10.73** Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNRr total en un sistema LDA y 2D-LDA, para una partícula de  $a_p = 20\mu m$  en recepción RD

## SIMULACIÓN 11

Cálculo de las señales Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNR reducida, para un sistema LDA de una dimensión y para un sistema 2D-LDA, en DHD (Detección hacia delante)), en función del diámetro de la partícula  $a_p = 0,1 \div 20\mu m$  para unas distancias punto de medida-apertura receptora  $R_{DHD} = 120mm$ ,  $R_{DHD} = 250mm$  y  $R_{DHD} = 600mm$ , con una apertura receptora de diámetro  $D_{DHD} = 4cm$ .



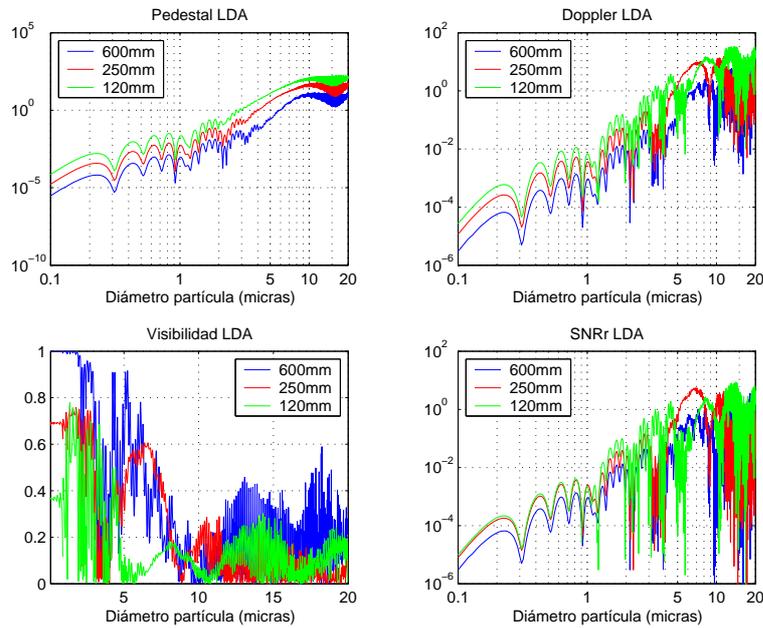
**Figura 10.74** Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNRr total en un sistema LDA, para una distancia punto de medida-apertura receptora de 120mm, 250mm y 600mm en función del diámetro de la partícula  $a_p = 0,1 - 20\mu\text{m}$  en recepción DHD



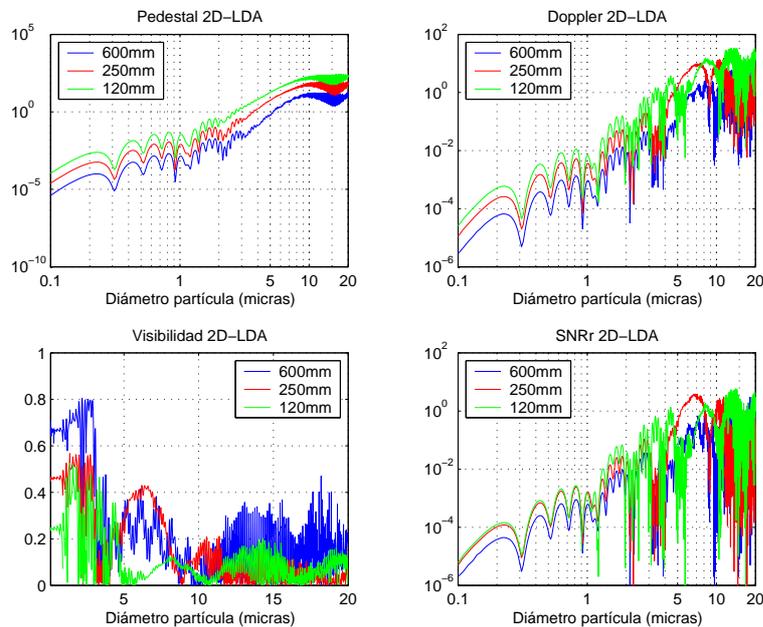
**Figura 10.75** Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNRr total en un sistema 2D-LDA, para una distancia punto de medida-apertura receptora de 120mm, 250mm y 600mm en función del diámetro de la partícula  $a_p = 0,1 - 20\mu\text{m}$  en recepción DHD

## SIMULACIÓN 12

Cálculo de las señales Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNR reducida, para un sistema LDA de una dimensión y para un sistema 2D-LDA, en RD (Retrodispersión), en función del diámetro de la partícula  $a_p = 0,1 \div 20\mu m$  para unas distancias punto de medida-apertura receptora  $R_{RD} = 120mm$ ,  $R_{RD} = 250mm$  y  $R_{RD} = 600mm$ , con una apertura receptora de diámetro  $D_{RD} = 4cm$ .



**Figura 10.76** Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNRr total en un sistema LDA, para una distancia punto de medida-apertura receptora de 120mm, 250mm y 600mm en función del diámetro de la partícula  $a_p = 0,1 - 20\mu\text{m}$  en recepción RD



**Figura 10.77** Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNRr total en un sistema 2D-LDA, para una distancia punto de medida-apertura receptora de 120mm, 250mm y 600mm en función del diámetro de la partícula  $a_p = 0,1 - 20\mu\text{m}$  en recepción RD

## 10.4. Conclusiones

Vistos los resultados anteriores, podemos plantear diferentes conclusiones:

SEÑALES LOCALES  $\implies$  Simulaciones 1-8

### 1. Diferencias entre los mapas de superficie de un sistema LDA y un sistema 2D-LDA.

- Al tener tres haces el sistema 2D-LDA y sólo dos el sistema LDA, la señal Pedestal en la apertura receptora, suma de los pedestales de cada uno de los haces, será mayor. Esto se muestra para diferentes tamaños de partícula, en el caso de DHD en las figuras 10.2 y 10.5, 10.10 y 10.13, 10.18 y 10.21, 10.26 y 10.29, y, para el caso RD, en las figuras 10.34 y 10.37, 10.42 y 10.45, 10.50 y 10.53, 10.58 y 10.61.
- La componente Doppler y la Fase de la señal Doppler serán la misma para los dos sistemas, ya que como vimos, el sistema 2D-LDA lo estamos considerando filtrado y por tanto teniendo en cuenta solo uno de los posibles batidos de la interferencia entre los haces, sus mapas será exactamente iguales al LDA de una dimensión. Para diferentes tamaños de partícula, en el caso de DHD, se muestran en las figuras 10.3 y 10.6, 10.11 y 10.14, 10.19 y 10.22, 10.27 y 10.30, y para el caso RD, en las figuras 10.35 y 10.38, 10.43 y 10.46, 10.51 y 10.54, 10.59 y 10.62.
- Por lo que respecta a la Visibilidad y la SNRr, ya que la señal Doppler es la misma, y la componente Pedestal más grande para el 2D-LDA, tendrá una distribución parecida, pero con una zona de menor energía que lógicamente coincide con la posición de la componente pedestal del tercer haz. Así, la Visibilidad y la SNRr en un sistema 2D-LDA, siempre serán menores que para un sistema LDA, y como consecuencia de este nuevo tercer haz, el patrón generado perderá su simetría. (Para diferentes tamaños de partícula, en el caso de DHD, véase las figuras 10.4 y 10.7, 10.12 y 10.15, 10.20 y 10.23, 10.28 y 10.31, y para el caso RD, las figuras 10.36 y 10.39, 10.44 y 10.47, 10.52 y 10.55, 10.60 y 10.63, para la Visibilidad. Las figuras, para el caso de DHD, 10.8 y 10.9, 10.16 y 10.17, 10.24 y 10.25, 10.32 y 10.33, y para el caso

RD, las figuras 10.40 y 10.41, 10.48 y 10.49, 10.56 y 10.57, 10.64 y 10.65, para la SNRr).

## 2. Diferencias RD y DHD.

- Queda claro que los niveles de señal dispersada presentan mayor nivel en el caso DHD que en RD, visto en la teoría de *Lorenz-Mie*.
- Además, en el caso RD, la distribución de energía presenta muchas más variaciones, frente a la DHD, más constante, como se observa en las figuras de las simulaciones 1-4 para DHD y simulaciones 5-8 para el caso de RD.

## 3. Diferencias entre los mapas de superficie para diferentes tamaños de las partículas.

- Cuando tenemos partículas muy pequeñas, la energía dispersada será muy débil, aunque constante e igual en grandes zonas de la apertura. Tienen poca variación y, por tanto, la visibilidad en algunas zonas concretas será próxima a la unidad. Para el caso de una partícula de diámetro  $a_p = 5\mu m$ , aunque no sea un caso tan extremo, podemos observar dicho fenómeno en las figuras 10.4 y 10.7. Así la SNRr tendrá valores muy constantes, como podemos ver en la figuras 10.8 y 10.9.
- A medida que las partículas son más grandes, los niveles energéticos en la superficie de la apertura receptora empiezan a aumentar, ya que al tener un área mucho mayor de dispersión, los niveles se incrementan. Pero también comienzan a oscilar de una forma clara, debido a que los diagramas de dispersión que producen las partículas, son más variables en función del ángulo de dispersión (aparecen más lóbulos), generando un tipo de patrón de interferencia mucho más complejo. La Visibilidad en determinados puntos o zonas de la apertura disminuirá, apareciendo niveles bajos. Podemos observarlo en el caso de una partícula de diámetro  $a_p = 20\mu m$  en las figuras 10.28 y 10.31. La SNRr también oscila aunque mantiene un mayor nivel que si fuesen partículas pequeñas, como vemos en las figuras 10.32 y 10.33.

## 4. Niveles de SNRr local

- Hemos presentado anteriormente las diferencias entre los niveles de la SNRr obtenidos, en función de la dirección de observación o localización de la apertura receptora (DHD o RD), de si era un sistema LDA o 2D-LDA y del

tamaño de las partículas dispersoras. En ningún momento se ha tratado de justificar el hecho de que se generen niveles pobres de SNRr. Cabe notar, que regiones pobres de SNRr en la lente receptora, aparecen cuando tenemos bajos valores de la componente Doppler o de la Visibilidad. Existen principalmente tres fenómenos que provocan la disminución de estas dos magnitudes:

a) Niveles de Pedestal

Este caso es el más obvio y sencillo de interpretar. Está claro que cuando los niveles de pedestal sean muy débiles, la componente de batido o señal Doppler también lo será.

b) Pedestales no balanceados

La Visibilidad en un punto será la unidad, es decir máximo nivel de interferencia, cuando los niveles o amplitudes de las señales asociadas a los pedestales sean iguales. En el caso en que esto no se cumpla, la visibilidad disminuirá, y por tanto la SNRr será pobre, ya que la interferencia no es óptima. Esto conlleva un incremento de Pedestal, es decir, de ruido.

c) Efecto de Polarización entre haces

Existe una tercera situación, y es que aunque los niveles de pedestal sean iguales, pueden generarse una señal Doppler pobre. Si nos fijamos en la expresión de la señal Doppler local para un sistema LDA o 2D-LDA, depende del producto entre los coeficientes de dispersión de cada uno de los haces  $\sigma_1(\theta, \phi) \cdot \sigma_2^*(\theta, \phi)$ , y por tanto, independientemente de que los pedestales sean grandes e iguales, puede minimizarse su valor. Este producto será máximo en el caso en que las dos ondas dispersadas tengan la misma polarización, y lógicamente puede darse el caso de que las polarizaciones sean ortogonales, apareciendo mínimos de señal.

### SEÑALES INTEGRADAS $\implies$ Simulaciones 9-12

Se presentan para diferentes tamaños de partícula, en el caso de DHD, las figuras 10.66, 10.67, 10.68 y 10.69, y para el caso RD, las figuras 10.70, 10.71, 10.72 y 10.73.

1. **Diferencias entre las señales integradas de un sistema LDA y un sistema 2D-LDA, en función del tamaño de la apertura receptora.**

- La componente Pedestal será mayor en un sistema 2D-LDA que en un sistema LDA, ya que mientras el primero se obtendrá a partir de la suma de tres pedestales, en el segundo sólo tendremos la suma de dos. A medida que incrementemos el área de integración, el nivel de la señal Pedestal total también aumentará.
- La componente Doppler será la misma para los dos sistemas, ya que como vimos, su distribución espacial de energía en la superficie de la apertura receptora era la misma y, consecuentemente, la integrada será igual.
- Los niveles de Visibilidad y de SNRr, como la señal Doppler es la misma en los dos sistemas, y la componente Pedestal es mayor para el sistema 2D-LDA, tendrán una evolución muy parecida pero de menor energía para el caso del sistema 2D-LDA. Así, la Visibilidad y la SNRr en un sistema 2D-LDA, siempre serán menor que para un sistema LDA.

## 2. Niveles de SNRr integrada en función del tamaño de la apertura receptora.

- El porqué los niveles de la SNRr total presenta tantas variaciones puede explicarse por dos motivos.
  - a) Regiones con niveles pobres de SNRr  
 Cuando integramos en toda el área de la apertura receptora, pueden existir zonas que tengan niveles muy bajos de SNRr, y por tanto el hecho de aumentar el tamaño de la apertura, aunque la señal Pedestal aumente, no tiene porqué reflejarse en un igual incremento de señal Doppler, perdiendo nivel de Visibilidad a medida que incrementamos los intervalos de integración.
  - b) Fase Doppler en puntos de la apertura  
 Hemos presentado anteriormente que la componente Doppler tiene asociada una fase, denominada Fase Doppler, que puede variar en función de la zona de la apertura. Consecuentemente es posible que existan regiones que estén en oposición de fase respecto a otras, de tal forma que la suma global a través de toda la apertura receptora se cancele, generando valores de SNRr muy pequeños.

Estos dos fenómenos van a producir que, aunque aumentemos el tamaño de la apertura, los niveles de SNRr no tienen porqué incrementarse, apareciendo

una variación muy marcada en algún caso, provocando mínimos para tamaños de apertura mayores.

### 3. Niveles de SNRr integrada en función del diámetro de las partículas, para tres distancias entre el punto de medida y la lente receptora.

Una forma alternativa de presentar los resultados de los valores integrados es la de expresar la señal Pedestal, Doppler, Visibilidad y SNRr total, en función del tamaño de las partículas dispersoras, para el caso de considerar diferentes distancias entre el punto de medida y la apertura receptora. Esto se presenta en las figuras 10.74 y 10.75 para el caso DHD, y en las figuras 10.76 y 10.77, para el caso de RD.

Podemos observar las siguientes conclusiones:

- $a_p \Downarrow \Rightarrow$  El comportamiento de la señal Pedestal, Doppler y SNRr cuando las partículas son pequeñas, en el rango de décimas de micra, presenta una evolución muy constante con nulas oscilaciones (Típico de la zona de Rayleigh). La Visibilidad se mantiene próxima a la unidad para el caso de que la posición de la lente respecto al punto de medida sea grande (ángulos sólidos de recepción pequeños), disminuyendo cada vez que esa distancia se hace más pequeña (ángulos sólidos de recepción grandes).
- $a_p \Uparrow \Rightarrow$  Aparecen fuertes oscilaciones de todas las señales, acentuándose para el caso RD. Los niveles de SNRr oscilan de forma muy extrema, mientras que para DHD las variaciones son mucho menores (comportamiento de la zona de Mie y de la óptica geométrica). La Visibilidad, de igual manera, genera niveles muy variables en todo el margen, oscilando sus valores de una manera destacada para el caso RD.

Las conclusiones finales, vistos los resultados obtenidos de todas las simulaciones teóricas de la SNRr para un sistema LDA y un sistema 2D-LDA, son las siguientes:

★ La elección del tamaño de las partículas en el caso de DHD, no afecta demasiado en el nivel recibido a la salida del detector, manteniéndose la idea de que a mayor tamaño mejor SNRr. Ahora bien, si elegimos una configuración de recepción por retrodispersión (RD), no solo obtendremos niveles en todo el margen de trabajo mucho menores que en el caso de recepción en detección hacia delante (DHD), sino que además, el hecho de

incrementar el diámetro de los elementos dispersores no nos aseguran que la amplitud de señal sea mejor, sino que para ciertos tamaños podemos tener niveles muy pobres.

★ Otros de los parámetros importantes de cara al diseño óptimo, para maximizar la SNRr a la salida del detector, es la elección de la distancia entre el punto de medida y la posición de la lente, definida como  $R_{RD}$  para la configuración RD, y  $R_{DHD}$  para la configuración DHD, así como el tamaño de la apertura receptora,  $D_{RD}$  y  $D_{DHD}$ , respectivamente. Queda claro que estos dos parámetros están relacionados por uno solo que es el ángulo sólido que la apertura será capaz de recibir. Hemos presentado simulaciones para el caso particular de tres distancias  $R_{RD}$  y  $R_{DHD}$ , 120mm, 250mm y 600mm para un diámetro de la apertura  $D_{RD}$  y  $D_{DHD}$  de valor constante de 40mm. Para estos casos particulares, los valores del diámetro angular o ángulo subtendido  $\delta$  de la apertura circular son  $\delta = 9,46^\circ$ ,  $\delta = 4,59^\circ$  y  $\delta = 1,910^\circ$  respectivamente. Observando la evolución de la SNRr, no queda claro que ángulo sea el óptimo, ya que dependerá del tamaño de la partícula. La solución más práctica es utilizar un diafragma que permita variar el área de la lente de recepción hasta ajustar el sistema para que genere señales lo suficientemente buenas para que el sistema de estimación de velocidad permita obtener resultados aceptables.

★ Las diferencias de nivel recibidos por una apertura receptora en el caso de un sistema LDA frente a uno de tres haces, como el sistema 2D-LDA, no son demasiado importantes cuando utilizamos una configuración en DHD. En este caso, como los niveles recibidos son muy elevados, si perdemos algo de señal no nos afectará en demasía, ahora bien, si utilizamos la otra configuración posible, como es la recepción RD, aquí sí que no podremos descartar el efecto de pérdida de señal, ya que no solo es una configuración con pobre dispersión, sino que si además incrementamos el nivel de ruido por tener tres pedestales, tendremos que utilizar niveles de potencia de excitación mucho más grandes, para compensar este fenómeno.