SIMULACIÓN NUMÉRICA POR ORDENADOR EN ASTROFÍSICA
(CURSO DE DOCTORADO 2003–04)

PRÁCTICA 4. *Simulaciones hidrodinámicas uni y multidimensionales mediante técnicas de alta resolución de captura de choques. Piecewise-Parabolic Method (PPM)*

1.– Introducción

- El método PPM es una extensión a alto orden del método de Godunov, de uso muy extendido en Astrofísica Computacional.
- Características fundamentales:
  - Reconstrucción de las funciones en las celdas numéricas mediante parábolas monótonas, lo que permite una representación muy precisa de los gradientes espaciales suaves y las discontinuidades, especialmente las discontinuidades de contacto. El algoritmo tiene una precisión de tercer orden (o incluso superior) en el caso de flujos suaves.
  - Construcción de los estados efectivos a izquierda y derecha de cada interfase numérica mediante promedios en los correspondientes *dominios de dependencia* de las interfases, para cada variable característica. Con este procedimiento se consigue una precisión de segundo orden en un único paso temporal.
  - Cálculo de los flujos numéricos en las distintas interfases numéricas a partir de la solución exacta de problemas de Riemann.
- Referencias:

Colella, P., and Woodward, P.R., *The Piecewise Parabolic Method (PPM) for Gas-Dynamical Simulations*, JCP, **54**, 174 (1984)

Martí, J.M., and Müller, E., *Extension of the Piecewise Parabolic Method to One-Dimensional Relativistic Hydrodynamics*, JCP, **123**, 1 (1996)

Martí, J.M., and Müller, E., *The Analytical Solution of the Riemann Problem in Relativistic Hydrodynamics*, J. Fluid Mech., **258**, 317 (1994)

2.– Primera parte de la práctica: Simulaciones unidimensionales

- Considera el programa `rppm.f` que integra las ecuaciones de la hidrodinámica relativista en una dimensión espacial usando el método PPM.
- Haz un diagrama de flujo del programa.
- Efectúa alguno de los tests propuestos en el programa.
- Modifica los datos iniciales y las condiciones de contorno para simular diferentes escenarios: interacción de vientos en una nebulosa protoplanetaria, ruptura de la onda de choque al alcanzar la superficie estelar en una explosión de supernova, onda de detonación en una explosión de GRB, ...

3.– Segunda parte de la práctica: Simulaciones multidimensionales

- Considera el código `vhone.f` (que previamente hemos descargado de la página web `http://wonka.physics.ncsu.edu/pub/VH-1/VH-1_Code.tar.Z`). VH-1 resuelve las ecuaciones de la dinámica de fluidos compresibles en una y dos dimensiones espaciales según el método PPM. Ha sido desarrollado por J. Blondin (North Carolina State University) y cols.
- Familiarízate con el código consultando la guía del usuario `http://wonka.physics.ncsu.edu/pub/VH-1/VH-1_guide.html`
- Copia los ficheros .tar de los directorios `VHONE/` y `TESTS/` en directorios similares previamente creados en tu cuenta y extrae su contenido
- Sitúate en el directorio `VHONE/` y compila el código tecleando `make`
- Ejecuta el código tecleando `vhone`. El programa ejecutará el *tubo de Sod* en 1D. El resultado final quedará almacenado en el fichero `sod1d.1001`, en formato `ASCII`. Puedes usar `gnuplot` (ver práctica 1) para visualizar los resultados.
- Intenta resolver ahora algún problema más complicado (tienes una lista de tests en la guía del usuario y también la página web `http://wonka.physics.ncsu.edu/pub/VH-1/testpage/`):
  - Sitúate en el directorio `TESTS/`.
  - El fichero correspondiente a cada test se identifica mediante la primera letra de su nombre (se incluyen también subrutinas originales para restaurar la versión original del código)

    `a_`: Strong shock

    `b_`: Supersonic flow past a ball or a cylinder

    `h_`: Hawley-Zabusky shock tube

    `m_`: Supersonic flow past a step (Mach step)

    `o_`: Oblique wall shock

    `s_`: Sod shock tube in 1, 2 or 3 dimensions
  - Copia las subrutinas relevantes (al menos `init.f` e `indat`) en el directorio `VHONE/` (ejemplo: `cp TESTS/a_init.f VHONE/init.f`)
  - Modifica las dimensiones de las matrices en `zone.h` y `sweepsize.h` de acuerdo con los requerimientos del problema.
  - Compila y ejecuta el código como explicamos antes

- Visualización de resultados multidimensionales:
  - Puedes usar el programa `plot2d.pro` de `IDL` que se encuentra en el directorio `VHONE/` y en el que tendrás que introducir el nombre del fichero que contiene los datos y adaptar las dimensiones de las variables.
  - Películas: Puedes seguir el siguiente procedimiento:
    1. Ejecuta el programa de `IDL` `movie.pro` (del directorio `VHONE/`) una vez modificados adecuadamente la raíz del nombre de los ficheros de datos (`root`) y el número de ficheros (`n`).
    2. El programa anterior genera una serie de ficheros `.png` que puedes visualizar directamente con `animate` (`animate *.png`).
- Ahora puedes preparar tu propia simulación modificando adecuadamente los parámetros del programa, los datos iniciales y las condiciones de contorno. Prueba, por ejemplo, con un chorro extragaláctico.