

A. Contexto

En los casos de prueba extendidos del planificador de rutas hemos verificado su efectividad (la capacidad de producir resultados correctos) y su eficiencia (la capacidad de requerir pocos recursos de tiempo y memoria). No obstante, dichos casos de prueba no superaban los 10.000 lugares y 30.000 carreteras. Si queremos aplicar nuestro programa a casos más realistas, debemos prepararlo para tamaños mucho mayores. Por ejemplo, sólo en España existen unos 8.000 pueblos y ciudades; si cada uno de ellos tiene un promedio de unas 100 plazas y esquinas, fácilmente podríamos llegar al millón de lugares, y el número de carreteras podría estar cerca de los 4 millones. Así que es hora de poner a prueba de verdad nuestro planificador de rutas, llevando a cabo un estudio experimental que analice el tiempo y el uso de memoria.

En definitiva, el objetivo de esta práctica es realizar un estudio de eficiencia exhaustivo, riguroso y completo de nuestro navegador, contrastando los resultados del análisis teórico con los del estudio experimental, y comparando la eficiencia de diferentes implementaciones. Los alumnos deben tomar conciencia de la importancia de la eficiencia en el desarrollo de programas, y del necesario rigor matemático y estadístico en el proceso de medición.

B. Descripción de la práctica

Es bien conocido que la **eficiencia** –en el sentido más amplio– no es un concepto *absoluto*, sino que debe entenderse como la relación entre **productos obtenidos** y **recursos consumidos** en la consecución de los mismos. La eficiencia de un programa se puede analizar tanto de forma teórica como experimental. Pero, ¿cuáles son los productos y cuáles los recursos?

B.1. Análisis de factores y recursos

Existen dos recursos básicos en computación: el tiempo y la memoria. En nuestro caso concreto, podemos desglosarlos en los siguientes **recursos**, que serán el objetivo del análisis:

- Tiempo total de inserción de todos los lugares del mapa (que denotaremos con t_1), es decir, el tiempo total de los comandos **AL** y **AñadirLugar**, para la implementación con tablas de dispersión del 325.
- Tiempo total de inserción de todos los lugares para la implementación con listas del ejercicio 025 (que denotaremos con t_1').
- Tiempo de consulta de una carretera (que denotaremos con t_c), es decir, el tiempo promedio del comando **ConsultarCarretera**, para la versión con árboles del ejercicio 325.
- Tiempo de consulta de una carreteras para la implementación del ejercicio 025 (t_c').
- Tiempo de calcular una ruta (que denotaremos con t_r), es decir, el tiempo promedio del comando **CalcularRuta**, para el ejercicio 325.
- Memoria ocupada por el programa (**m**), para el ejercicio 325.

Se debe estudiar la variación de estos recursos en función de los siguientes **factores**:

- Número total de lugares en el mapa (**n**).
- Número total de carreteras en el mapa (**a**).
- En los casos donde corresponda, el tamaño inicial de las tablas de dispersión (**B**).
- En función de cualquier otro factor que los alumnos consideren relevante en su programa.

B.2. El proceso de análisis

Vamos a concretar aquí el trabajo a realizar en esta práctica, que se puede descomponer en: estudio teórico, estudio experimental y contraste teórico/experimental. De manera simplificada, el estudio experimental consistirá en analizar cómo varían los **recursos** (tiempo y memoria) de nuestro programa cambiando cada uno de los **factores** y manteniendo fijos los demás. Y así para cada uno de los seis factores de interés. Por ejemplo, para las consultas de carreteras,

podemos tomar tablas con $B = 1.000$ cubetas, fijamos $n = 1.000$, y analizamos t_c con $a = 100, 200, 300, \dots, 10.000$ carreteras. Luego fijamos B y a , y variamos n . Y así sucesivamente.

En concreto, el proceso de análisis constará de las siguientes fases:

F1. Decisiones previas sobre el estudio de eficiencia. Determinar de forma precisa los aspectos a medir: (1) recursos a considerar en el estudio; (2) factores relevantes en cada recurso, según las estructuras de datos; (3) intervalos de análisis para cada recurso.

Por ejemplo, podemos concretar que el tiempo t_c se referirá a la media de 50 consultas de carreteras; y deducimos que influyen los factores n , a y B . Después, especificamos los tamaños concretos de estos factores que nos interesa analizar y el número de pruebas por tamaño. Se entiende que cuanto mayor sea el número de pruebas, más completo y fiable será el estudio. En estas pruebas, un factor se va aumentando y los demás se mantienen fijos. Por ejemplo, podríamos establecer los tres siguientes estudios para la consulta de carreteras:

	1. Estudio del factor n	2. Estudio del factor a	2. Estudio del factor B
n	100, 200, ..., 100.000	1.000	1.000
a	5.000	100, 200, ..., 50.000	5.000
B	1.000	1.000	10, 20, ..., 4.000

Deben ser claramente fijadas e indicadas las condiciones en las que se aplican los casos de prueba: el ordenador que se va a usar, el sistema operativo, las opciones de compilación, la versión concreta que se analiza, etc. Es importante garantizar que el S.O. no tiene otros procesos que interfieran en las medidas.

F2. Estudio teórico. Estudiar de forma teórica las funciones que indican la variación de los recursos en función de los diferentes factores; esto es, analizar en papel las funciones teóricas: $t_c(n, a, B)$, $m(n, a, B)$, etc. Ojo, no se trata de hacer un análisis del código línea por línea, sino más bien de forma más global y abstracta, teniendo en cuenta las estructuras de datos y los algoritmos que intervienen en cada operación.

El estudio teórico debe conducir siempre a la obtención de los órdenes de complejidad de los recursos en función de los factores considerados. Usar las notaciones asintóticas adecuadas (O , Ω , Θ , o-pequeña). Por ejemplo, después del análisis teórico podemos llegar a la conclusión de que el tiempo de consultar una carretera, $t_c(n, a, B)$, pertenece a un orden de $O(a^2 + B \cdot \log n)$. Hacer lo mismo –pero bien hecho, claro– para todos los recursos.

Estos órdenes de complejidad se usarán más adelante, dentro del contraste teórico/experimental.

F3. Creación y ejecución de los casos de prueba. Ya tenemos establecidos los elementos que hay que analizar, las pruebas, los tamaños y las condiciones. Ahora hay que llevarlo a cabo en el ordenador. Básicamente, cada prueba consiste en: generar casos de prueba con los tamaños establecidos previamente; ejecutar el programa con cada caso de prueba; extraer el tiempo y la memoria de esa ejecución; y guardarlo todo en una tabla.

En este paso será necesario programar: (1) para crear los casos de prueba con los tamaños especificados en el paso **F1**; (2) para modificar el planificador de rutas, haciendo que muestre el tiempo y la memoria gastados después de cada operación; y (3) para automatizar la ejecución de los casos y el almacenamiento de los resultados.

Para el punto (1), se puede usar el generador de casos de prueba realizado por los profesores, que se puede encontrar en la página web:

<http://dis.um.es/~ginesgm/files/doc/aed/pract/generador10.rar>

Compilar el generador usando **make**, y ejecutar con: **./genmapcf -h**

Para el punto (2), se ha dejado información en la página web: <http://dis.um.es/~ginesgm/medidas.html>, sobre la medición del tiempo y la memoria de un programa. Estas mediciones pueden hacerse de dos formas diferentes: mediante un programa externo (al estilo del **time** de Linux), o añadiendo en el código del programa funciones para medir el tiempo y la memoria (por ejemplo, dirigiendo en resultado a **cerr**).

Para el punto (3), hay que tener en cuenta que el proceso de medición se puede repetir del orden de unas 360 veces (digamos, 6 recursos por 3 factores por 20 ejecuciones por estudio). Por ello, hay que automatizar lo máximo posible el proceso de ejecución y extracción de tiempos y memoria, por ejemplo, usando *shell scripts*.

F4. Análisis estadístico y contraste teórico/experimental. Aprovechando los conocimientos de los alumnos en estadística, se analizarán los resultados obtenidos de manera formal y rigurosa. Sugerimos las siguientes técnicas: representaciones gráficas, ajustes de regresión, medidas obtenidas en el ajuste de regresión, etc.

Deberá haber una gráfica de cada factor con cada recurso: tiempo en insertar las carreteras en función de **B**, memoria en función del número de lugares, etc. En la documentación, **todas las gráficas deben estar comentadas**, de forma concisa pero señalando lo más relevante de cada una.

Se usarán las funciones teóricas, obtenidas en el paso **F2**, para realizar ajustes de regresión de esas funciones con los datos experimentales, indicando también las medidas obtenidas en ese ajuste. Por ejemplo, si la función teórica es un $O(n^2)$, la gráfica debe tener forma de parábola, y la regresión será con una función del tipo: $c_1 \cdot n^2 + c_2 \cdot n + c_3$. Para ello, se usarán las herramientas estadísticas/matemáticas adecuadas que dominen los alumnos.

Donde sea posible, se mostrarán de forma comparada las gráficas que correspondan a un mismo concepto sobre diferentes implementaciones. Por ejemplo, poner una gráfica con los tiempos t_c y t_c' .

Además del análisis, se deben mostrar tabularmente en la documentación todos los valores obtenidos y usados (es decir, los datos en crudo).

F5. Predicción. (Opcional, cuenta 1,5 puntos del total) Predecir de forma razonada cuánto tiempo tardará la operación de calcular rutas para 1 millón de lugares y 4 millones de carreteras. No hay que ejecutar pruebas con esos tamaños, simplemente hacer un estudio de lo que tarda para tamaños menores y hacer una estimación basada en una regresión.

F6. Conclusiones. Por último, habrá que extraer las conclusiones más relevantes del estudio realizado, en cuanto a: valorar la eficiencia obtenida, puntos fuertes y débiles del programa, qué cosas se podrían mejorar, fiabilidad del estudio, resultados del análisis de eficiencia y del contraste teórico/experimental, comparación entre implementaciones (donde corresponda), etc. No olvidar incluir las valoraciones personales de la práctica, la estimación del tiempo utilizado en esta práctica y el reparto del trabajo.

Se deben documentar las decisiones tomadas en cada una de estas fases, los programas creados y los resultados obtenidos.

C. Memoria de la práctica

La memoria de la práctica deberá contener obligatoriamente los siguientes apartados.

C.0. Portada

Nombre de los alumnos, titulación y **e-mail** de cada uno.

C.1. Proceso de análisis de eficiencia

Documentación de cómo se han llevado a cabo los pasos descritos en el apartado **B.2. Importante**, la documentación debe contener exactamente estos apartados:

- F1. Decisiones previas sobre el estudio de eficiencia.
- F2. Estudio teórico.
- F3. Creación y ejecución de los casos de prueba.
- F4. Análisis estadístico y contraste teórico/experimental.
- F5. (Opcional) Predicción.
- F6. Conclusiones del análisis de eficiencia.

C.2. Listado del código

En caso de haber creado algún programa para la ejecución automática o semiautomática de las pruebas, incluir el listado.

C.3. Informe de desarrollo

Debe contener lo siguiente:

- Organización temporal de las fases de resolución de esta práctica.
- Cómo ha sido la coordinación y el reparto del trabajo entre los miembros del grupo.
- Conclusiones y valoraciones personales de la práctica.

D. Evaluación de la práctica

D.1. Obligatorio

Para aprobar la práctica se requiere que:

- Los programas que sean desarrollados se puedan *compilar/ejecutar sin errores* en las máquinas del laboratorio de prácticas.
- La memoria de la práctica debe contener *todos los puntos* indicados en el apartado C. Todas las gráficas tienen que estar comentadas. La memoria debe ser entregada en el plazo que se establezca.
- Todos los *datos* (tiempos y memoria usada) deben ser *ciertos*. La invención o manipulación de los mismos puede suponer no superar la práctica.

D.2. Criterios de valoración

La práctica se puntuará de acuerdo con los siguientes criterios:

- **Rigor matemático y estadístico**, tanto en el estudio teórico, como en el diseño de casos, en el análisis de resultados y en la comparación de diferentes implementaciones.
- Utilización adecuada de las **herramientas** matemáticas y estadísticas que sean necesarias.
- Grado de **automatización** del proceso. Se valorará positivamente la implementación de programas que automaticen las pruebas, frente a la ejecución manual.
- Obtención de **conclusiones** relevantes y acertadas.

D.3. Otras cuestiones

La práctica se deberá realizar en grupos de dos alumnos, en los mismos grupos que los creados para la práctica 1. Aunque no se establecen entregas intermedias para esta práctica 2, se aconseja que los alumnos consulten a los profesores tras la finalización de las primeras fases (especialmente las fases F1 y F2) para evitar acarrear fallos en las fases sucesivas.

Se puede encontrar información adicional para realizar la práctica (funciones para medir la memoria y el tiempo) en la web: <http://dis.um.es/~ginesgm/medidas.html> y el generador de casos de prueba en: <http://dis.um.es/~ginesgm/files/doc/aed/pract/generador10.rar>

Se establece como fecha tope de entrega de esta práctica el viernes 16 de abril de 2010. Se ruega que antes de entregarla, se compruebe que están **todos los puntos** indicados en el apartado C. Para los alumnos que no entregaron a tiempo la práctica 1, podrán entregar la práctica 1 y la 2 ese mismo día.