DEPARTAMENTO
DE COMPUTACION

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - UBA

Trabajo Práctico II

subtitulo del trabajo

Organización del Computador II

Segundo Cuatrimestre de 2014

Integrante	LU	Correo electrónico
Nombre	XXX/XX	`mail`
Nombre	XXX/XX	`mail`

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires
Ciudad Universitaria - (Pabellón I/Planta Baja)
Intendente Güiraldes 2160 - C1428EGA
Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Rep. Argentina
Tel/Fax: (54 11) 4576-3359
http://www.fcen.uba.ar

Resumen

En el presente trabajo se describe la problemática de procesar información de manera eficiente cuando los mismos requieren:

1. Transferir grandes volumenes de datos.
2. Realizar las mismas instrucciones sobre un set de datos importante.

Índice

1. Objetivos generales

El objetivo de este Trabajo Práctico es mostar las variaciones en la performance que suceden al utilizar instrucciones SIMD en comparacion con codigo C con diversos grados de optimizacion realizados por el compilador.

Para ello se realizaran cuatro filtros de fotos, Cropflip, Bandas, Sierpinski y Motion Blur, tanto en codigo assambler que aproveche las instucciones SSE brindadas para los procesadores de arquitectura Intel como codigo C, al que se le apilcarán los distintos flags de optimizacion -O0, -O1, -O2 y -O3.

El primer filtro, Cropflip, se utilizará para mostar cuanto mejora la performance al utilizar los registros MMX para transferir grandes cantidades de informacion.

El segundo, tercer y cuarto filtro, se sentrán, en la variacion de performance entre utilizar instrucciones SIMD, para realizar diversos calculos (sumas, multiplicaciones, diviciones) tanto en representacion de enteros como punto flotante.

2. Enunciado y solucion

2.1. Enunciado

2.2. Filtro cropflip

Programar el filtro *cropflip* en lenguaje C y luego en ASM haciendo uso de las instrucciones vectoriales (**SSE**).

Experimento 1.1 - análisis el código generado

En este experimento vamos a utilizar la herramienta `objdump` para verificar como el compilador de C deja ensamblado el código C.

Ejecutar

```
objdump -Mintel -D cropflip_c.o
```

¿Cómo es el código generado? Indicar *a*) Por qué cree que hay otras funciones además de `cropflip_c` *b*) Cómo se manipulan las variables locales *c*) Si le parece que ese código generado podría optimizarse

Experimento 1.2 - optimizaciones del compilador

Compile el código de C con flags de optimización. Por ejemplo, pasando el flag `-O1`[1]. Indicar 1. Qué optimizaciones observa que realizó el compilador 2. Qué otros flags de optimización brinda el compilador 3. Los nombres de tres optimizaciones que realizan los compiladores.

Luego de optimizar el codigo, se observa que ahora el mismo solo realiza los accesos a memoria minimos indispensables, lo que tambien implica que ahora utiliza registros para guardar los datos. Ademas el codigo esta mas comprimido, y resulta mas claro de leer.

Ademas precalcula los valores que seran utilizados muchas veces, lo que aumenta la performance, principalmente en casos de instancias grandes.

Los otros flags de optimizacion son -O2, -O3, -Og, -Os, -Ofast.

Ademas encontramos los flags -msse, -msse2, -msse3, -mmmx, -m3dnow, pero al intentar compilar con varios de ellos vimos que gcc no es capaz como para utilizar instrucciones simd.

Tres nombres de optimizaciones son: -fipa-profile, -fipa-reference ,-fmerge-constants

2.3. Mediciones

Realizar una medición de performance *rigurosa* es más difícil de lo que parece. En este experimento deberá realizar distintas mediciones de performance para verificar que sean buenas mediciones.

En un sistema “ideal” el proceso medido corre solo, sin ninguna interferencia de agentes externos. Sin embargo, una PC no es un sistema ideal. Nuestro proceso corre junto con decenas de otros, tanto

[1] agregando este flag a `CCFLAGS64` en el makefile

de usuarios como del sistema operativo que compiten por el uso de la CPU. Esto implica que al realizar mediciones aparezcan "ruidos" o "interferencias" que distorsionen los resultados.

El primer paso para tener una idea de si la medición es buena o no, es tomar varias muestras. Es decir, repetir la misma medición varias veces. Luego de eso, es conveniente descartar los outliers [2], que son los valores que más se alejan del promedio. Con los valores de las mediciones resultantes se puede calcular el promedio y también la varianza, que es algo similar el promedio de las distancias al promedio[3].

Las fórmulas para calcular el promedio μ y la varianza σ^2 son

$$\mu = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \qquad \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \mu)^2}{n}$$

[2] en español, valor atípico: `http://es.wikipedia.org/wiki/Valor_atpico`

[3] en realidad, elevadas al cuadrado en vez de tomar el módulo

Experimento 1.3 - calidad de las mediciones

1. Medir el tiempo de ejecución de cropflip 10 veces.
2. Implementar un programa en C que no haga más que ciclar infinitamente sumando 1 a una variable. Lanzar este programa tantas veces como *cores lógicos* tenga su procesador. Medir otras 10 veces mientras estos programas corren de fondo.
3. Calcular el promedio y la varianza en ambos casos.
4. Consideraremos outliers a los 2 mayores tiempos de ejecución de la medicion a) y también a los 2 menores, por lo que los descartaremos. Recalcular el promedio y la varianza después de hacer este descarte.
5. Realizar un gráfico que presente estos dos últimos items.

A partir de aquí todos los experimentos de mediciones deberán hacerse igual que en el presente ejercicio: tomando 10 mediciones, luego descartando outliers y finalmente calculando promedio y varianza.

Experimento 1.4 - secuencial vs. vectorial

En este experimento deberá realizar una medición de las diferencias de performance entre las versiones de C y ASM (el primero con -O0, -O1, -O2 y -O3) y graficar los resultados.

Experimento 1.5 - cpu vs. bus de memoria

Se desea conocer cual es el mayor limitante a la performance de este filtro en su versión ASM.

¿Cuál es el factor que limita la performance en este caso? En caso de que el limitante fuera la intensidad de cómputo, entonces podrían agregarse instrucciones que realicen accesos a memoria extra y la performance casi no debería sufrir. La inversa puede aplicarse, si el limitante es la cantidad de accesos a memoria. [4]

Realizar un experimento, agregando 4, 8 y 16 instrucciones aritméticas (por ej `add rax, rbx`) analizando como varía el tiempo de ejecución. Hacer lo mismo ahora con instrucciones de acceso a memoria, haciendo mitad lecturas y mitad escrituras (por ejemplo, agregando dos `mov rax, [rsp]` y dos `mov [rsp+8], rax`).[5]

Realizar un único gráfico que compare: 1. La versión original 2. Las versiones con más instrucciones aritméticas 3. Las versiones com más accesos a memoria

Acompañar al gráfico con una tabla que indique los valores graficados.

Filtro *Sierpinski*

Programar el filtro *Sierpinski* en lenguaje C y en en ASM haciendo uso de las instrucciones vectoriales (**SSE**).

Experimento 2.1 - secuencial vs. vectorial

Analizar cuales son las diferencias de performace entre las versiones de C y ASM de este filtro, de igual modo que para el experimento 1.4.

Experimento 2.1 - cpu vs. bus de memoria

¿Cuál es el factor que limita la performance en este filtro? Repetir el experimento 1.5 para este filtro.

[4] también podría pasar que estén más bien balanceados y que agregar cualquier tipo de instrucción afecte sensiblemente la performance

[5] Notar que en el caso de acceder a `[rbp]` o `[rsp+8]` probablemente haya siempre hits en la cache, por lo que la medición no será de buena calidad. Si se le ocurre la manera, realizar accesos a otras direcciones alternativas.

Filtro *Bandas*

Programar el filtro *Bandas* en lenguaje C y en en ASM haciendo uso de las instrucciones vectoriales (**SSE**).

Experimento 3.1 - saltos condicionales

Se desea conocer que tanto impactan los saltos condicionales en el código de filtro Bandas con `-O1` (la versión en C).
Para poder medir esto de manera aproximada, remover el código que detecta a que banda pertenece cada pixel, dejando sólo una banda. Por más que la imagen resultante no sea correcta, será posible tomar una medida aproximada del impacto de los saltos condicionales. Analizar como varía la performance.

Experimento 3.2 - secuencial vs. vectorial

Repetir el experimento 1.4 para este filtro.

Filtro *Motion Blur*

Programar el filtro *mblur* en lenguaje C y en ASM haciendo uso de las instrucciones **SSE**.

Experimento 4.1

Repetir el experimento 1.4 para este filtro

2.4. Desensamblado de codigo C y Optimización

Comenzamos analizando el algoritmo el codigo del Cropflip del algormitmo realizado en C.

Este basicamente solo mueve datos de un lugar de la RAM a otros, sin afectar mayormente la imagen.

Realizamos un objdump para ver el codigo que genera el compilador gcc. Al desensamblar el codigo pudimos observar, primero que nada, que C guarda todos los parametros en la pila, lo que es innecesario, esta escribiendo en memoria todas las variables utilizadas.

Tambien notamos que utiliza las variables locales desde memoria en vez de guardarlas en registros.

Tambien puede observarse que C utiliza saltos incondicionales, lo que puede sugerir que intenta sacar provecho al sistema de prediccion de saltos.

Ademas C genera, luego de la función, un monton de secciones que comienzan con debug_xxx. Estas secciones sirven para ser interpretadas por GDB u otros debuggers.

Como ya dijimos, el codigo podria optimizarse para no realizar tantos accesos a memoria innecesarios guardando variables locales por ejemplo en registros, lo cual disminuiria el tiempo de ejecución.

Luego de esto, procedemos a compilar el codigo utilizando el flag -O1, y nuevamente realizamos un objdump para ver el codigo desensamblado. se observa que ahora el mismo solo realiza los accesos a memoria minimos indispensables, lo que tambien implica que ahora utiliza registros para guardar los datos. Ademas el codigo esta mas comprimido, y resulta mas claro de leer.

Ademas precalcula los valores que seran utilizados muchas veces, lo que aumenta la performance, principalmente en casos de instancias grandes.

Los otros flags de optimizacion son -O2, -O3, -Og, -Os, -Ofast.

Ademas encontramos los flags -msse, -msse2, -msse3, -mmmx, -m3dnow, pero al intentar compilar con varios de ellos vimos que gcc no es capaz como para utilizar instrucciones simd.

Tres nombres de optimizaciones son: -fipa-profile, -fipa-reference ,-fmerge-constants

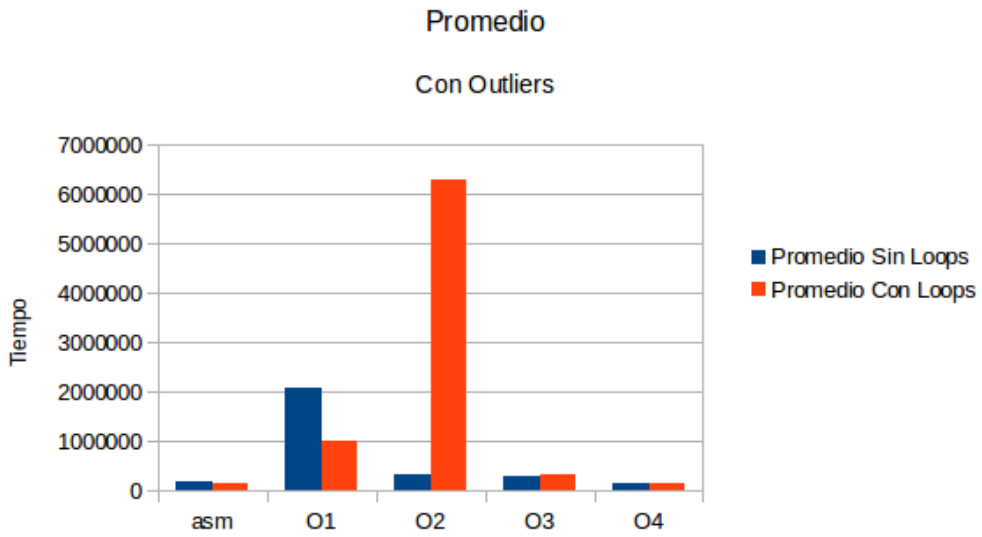
2.5. Calidad de las Mediciones

Para este experimento vamos ver como se puede ver afectado nuestros algoritmos frente a diversos factores de ruido e interferencias que puedan alterar nuestras mediciones.

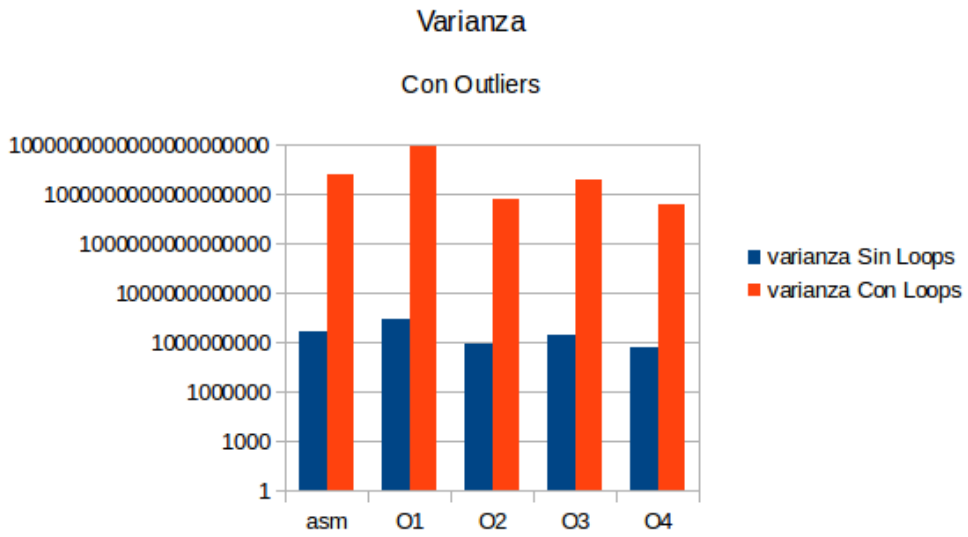
Para este experimento se utilizo un procesador Intel Atom, de 4 nucleos a 1.6 GHZ con Hyper-Threading. Por lo que la cantidad de nucleos logicos asciende a 8.

Para que las pruebas sean mas concisas y exactas, se deshabilita el scaling dinamico del CPU, ya que esto podría generar ruido innecesario en nuestras mediciones.

Procedemos a tomar 10 mediciones para cada una de las verciones del cropflip, tanto con 8 loops corriendo en paralelo como sin los mismos. Lo que se obtiene es el siguiente grafico:



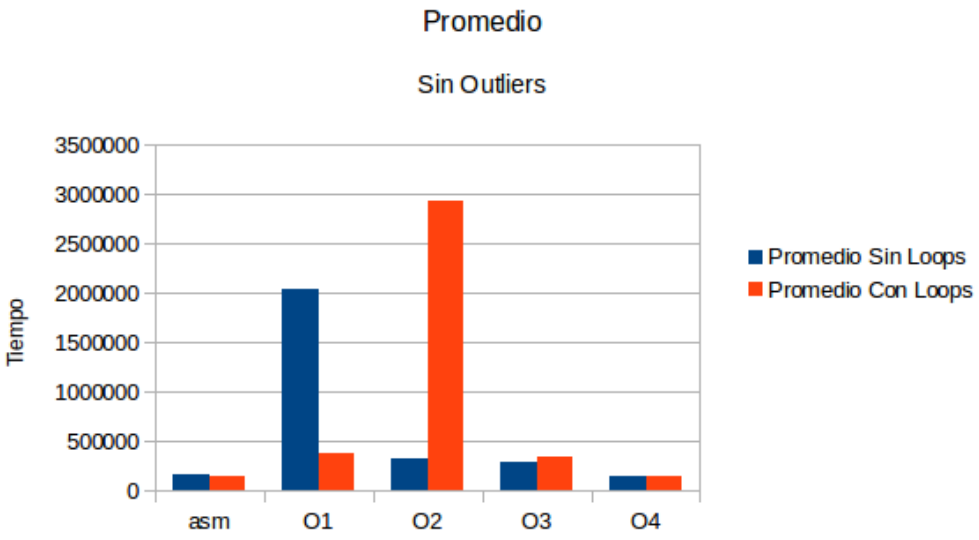
Realizamos un calculo de la varianza para ver que tan precisos son los resultados y se obtiene esto:



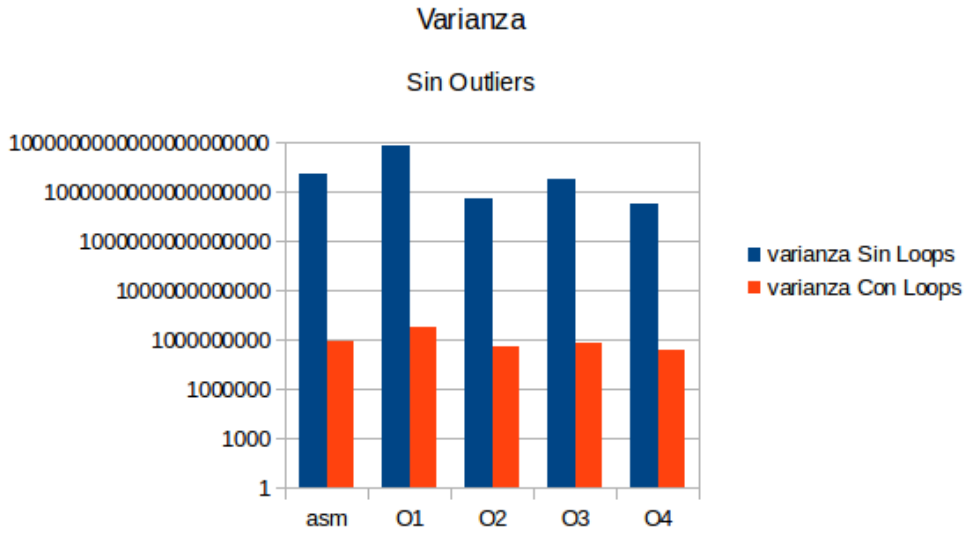
La varianza con loops es sustancialmente mayor que sin los mismos, por lo que se estaria inclinado a correr tests sin loops para obtener valores mas fiables.

Ahora consideramos outliers a los dos valores mas grandes y a los dos valores mas chicos y volvemos a graficar los resultados.

Esto es lo que se obtiene al graficar el promedio:



En este grafico no se observan cambios significativos. Sin embargo, al calcular nuevamente la varianza, se observa lo siguiente:



Las varianzas de los tests con loops, se ven reducidas drasticamente, inculuso por debajo de las varianzas sin los mismos.

De aqui se concluye, que la mejor manera de realizar tests es con loops corriendo en paralelo y luego, cuando estos valores ya han sido obtenidos, quitando los dos valores mas grandes y los dos valores mas chicos.

3. Cropflip

3.1. Diferencias de performance en Cropflip

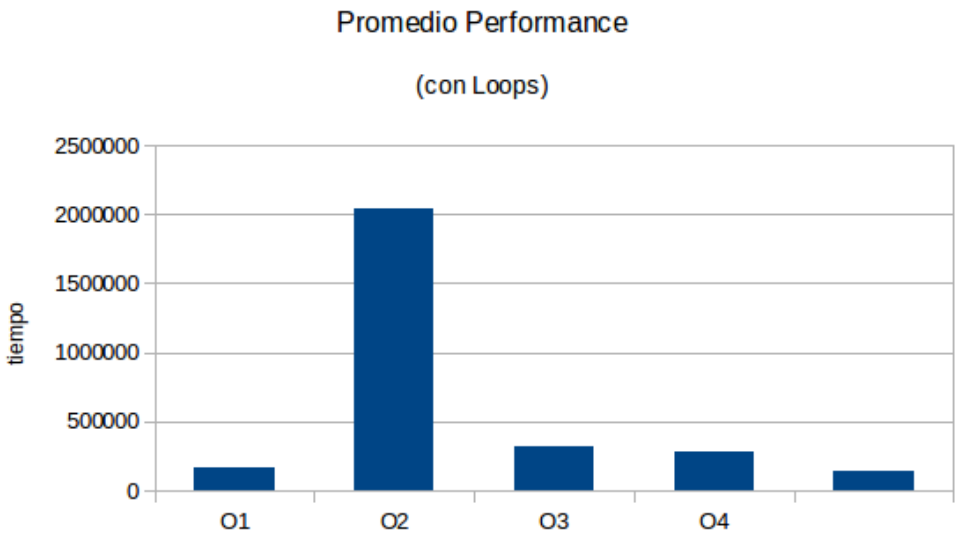
En el siguiente experimento se mediran las performances tanto de nuestro algoritmo en assambler, implementado para sacar provecho de las instrucciones SSE de Intel, como una versión alternativa hecha en C con diversos grados de optimizacion a cargo del compilador.

El algormitmo de cropflip para Cropflip es muy cencillo. Siemplemente movemos 128-bits de la imagen a un mmx y de alli al destino, que previamente a sido seteado para colocar los bits en el lugar correcto. De esta manera, podremos mover de una sola vez, 16 bytes, lo que corresponde a 4 pixels de la imagen.

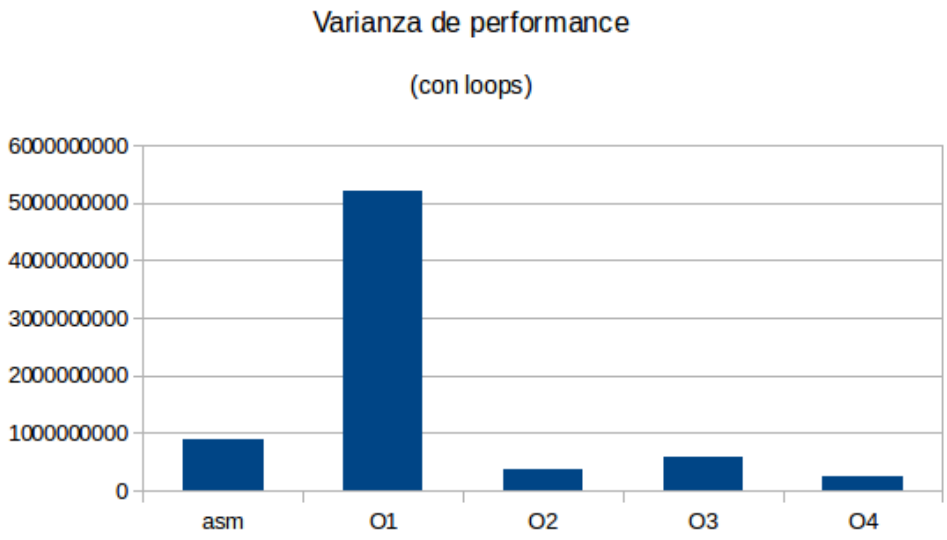
Dado que la cantidad de columnas es siempre multiplo de 4, osea, siempre tenemos 4 bytes para tomar, no es necesario chequear otros casos borde.

Las pruebas de performance, realizadas de la misma manera en que concluimos la anterior seccion, se realizaron corriendo 8 loops en paralelo junto con los algoritmos de manera de minimizar el ruido y luego quitando los outliers.

Lo obtenido en los tests puede verse en el siguiente grafico:



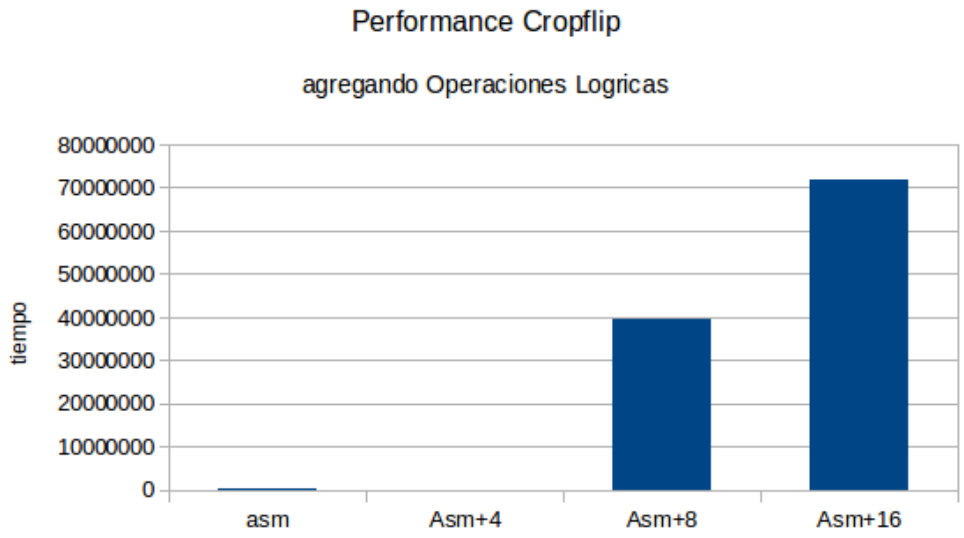
Y las varianzas son:

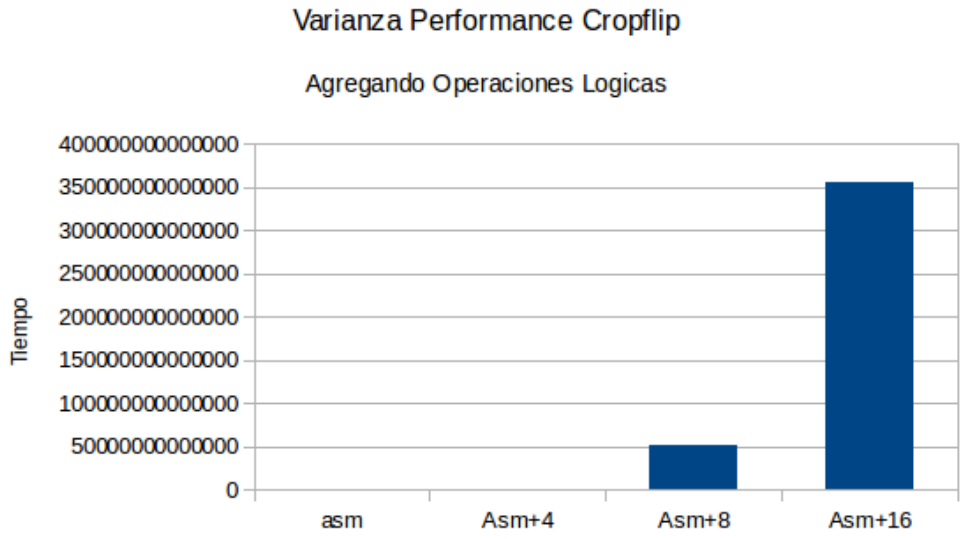


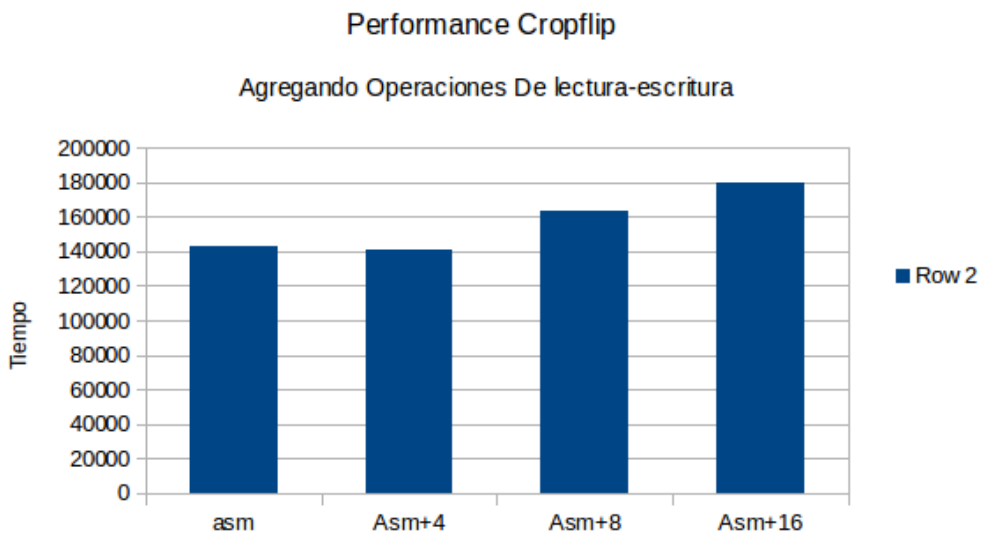
De aqui puede verse que la implementación en assambler es tan buena, como la implementacion en C con el maximo grado de optimización.

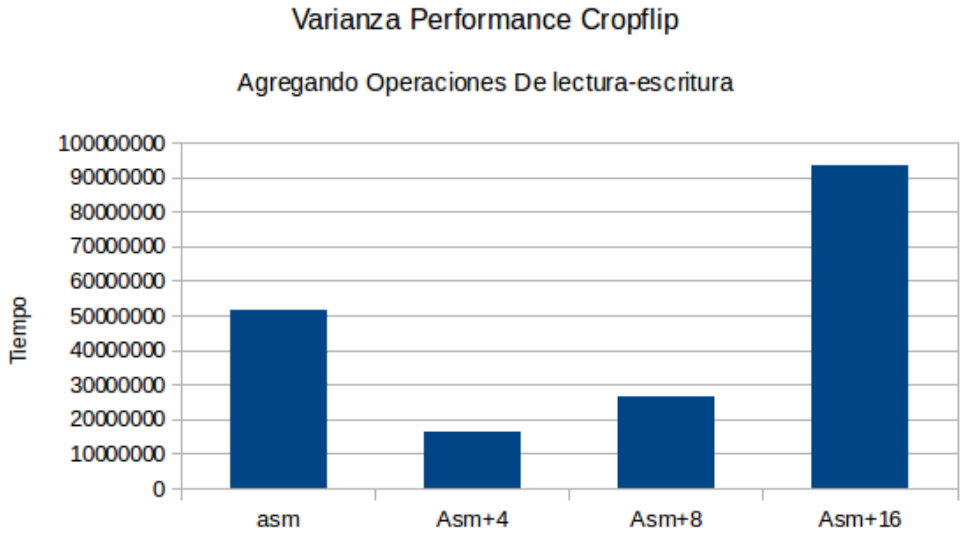
3.2. cpu vs. bus de memoria en Cropflip

HACER =)






Performance Cropflip
Agregando Operaciones De lectura-escritura
Tiempo
200000
180000
160000
140000
120000
100000
80000
60000
40000
20000
0
asm
Asm+4
Asm+8
Asm+16
Row 2


Varianza Performance Cropflip
Agregando Operaciones De lectura-escritura
Tiempo
100000000
90000000
80000000
70000000
60000000
50000000
40000000
30000000
20000000
10000000
0
asm
Asm+4
Asm+8
Asm+16

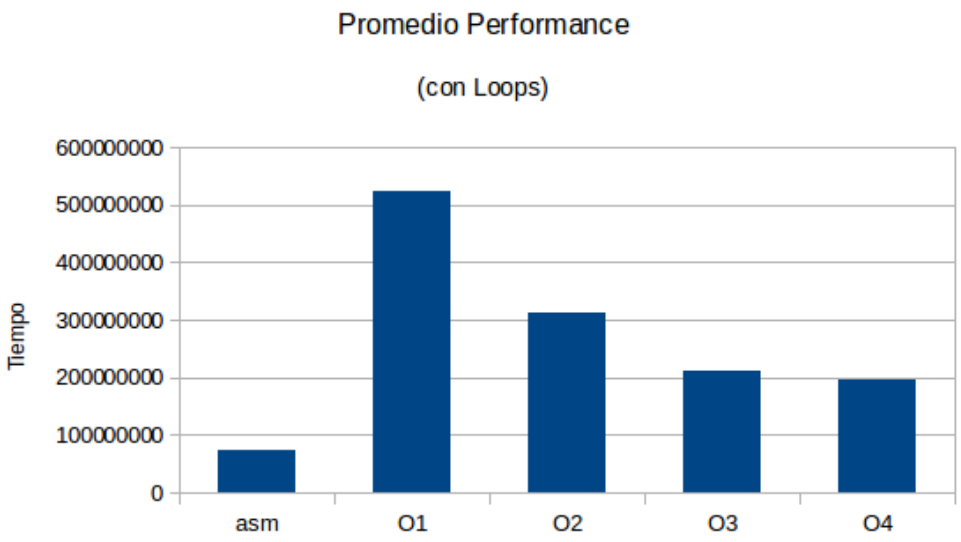
4. Sierpinski

4.1. Diferencias de performance en Sierpinski

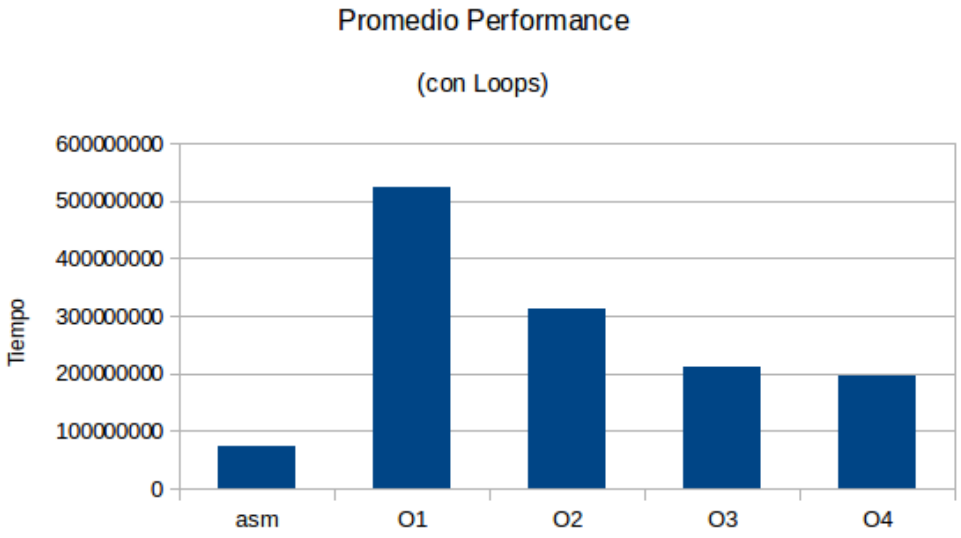
Ahora analizamos el algoritmo del Sierpinski. En este caso, el algoritmo ya es un poco mas complejo. Necesitamos calcular para cada columna, una constante diferente, que dependerá de cual sea la misma. Luego para poder paralelizar de alguna manera el algoritmo en C y sacar provecho a los registros xmm, es necesario calcular 4 constantes a la vez y multiplicarlas a sus respectivos pixcels.
Luego la idea del algormitmo será algo así:

```
Pongo r10 y r11 en 0, estos seran la filas (i) y columnas (j) en la que estoy parado.
Pongo en xmm8 la cantidad de columnas, lo brodcasteo y lo convierto a float
Pongo en xmm9 la cantidad de filas, lo brodcasteo y lo convierto a float
Muevo a xmm13 la constante 255 brodcasteada y en formato float
Muevo a xmm15 los valores 0,1,2,3 en formato entero.
Seteo xmm14 en 0.
Luego, para cada paso iterativo:
  Tomo 4 pixcels de la fuente y los pongo en xmm0.
  Muevo r10 y r11 a xmm10 y xmm11 respectivamente, los brodcasteo.
  Sumo xmm10 y xmm15 para obtener el numero i apropiado para cada pixcel. tendré (i+0,i+1,i+2,i+3).
  Convierto xmm10 y xmm11 a punto flotante.
  Divido xmm10 por xmm9 y xmm11 por xmm8. (xmm10= i/filas), y (xmm11= j/columnas).
  Multiplico xmm10 y xmm 11 por xmm13, osea multiplico ambos valores por la constante 255 previamente brodcast
  Comvierto xmm10 y xmm11 nuevamente a entero y realizo un xor entre ellos.
  Paso a float xmm10 nuevamente y lo divido por xmm13.
  Hasta aqui hemos calculado el coeficente $b$ para cada uno de los 4 picels.
  Ahora solo resta tomar los 4 pixcels que teniamos en xmm0, desempaquetarlos y convertirlos a float
  Multiplicarlos cada uno de los pixcels por su constante $b$
  Convertir nuevamente los valores a byte y ponerlos en el destino.
```

Los resultados comparativos de performance para este algoritmo comparado con uno iterativo desarrollado en C fueron los siguientes:



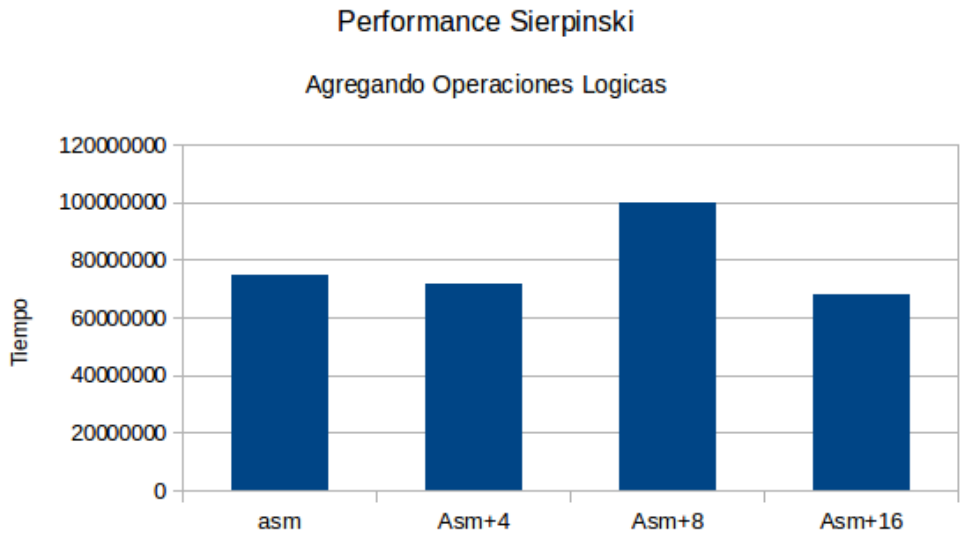
Y la varianza:

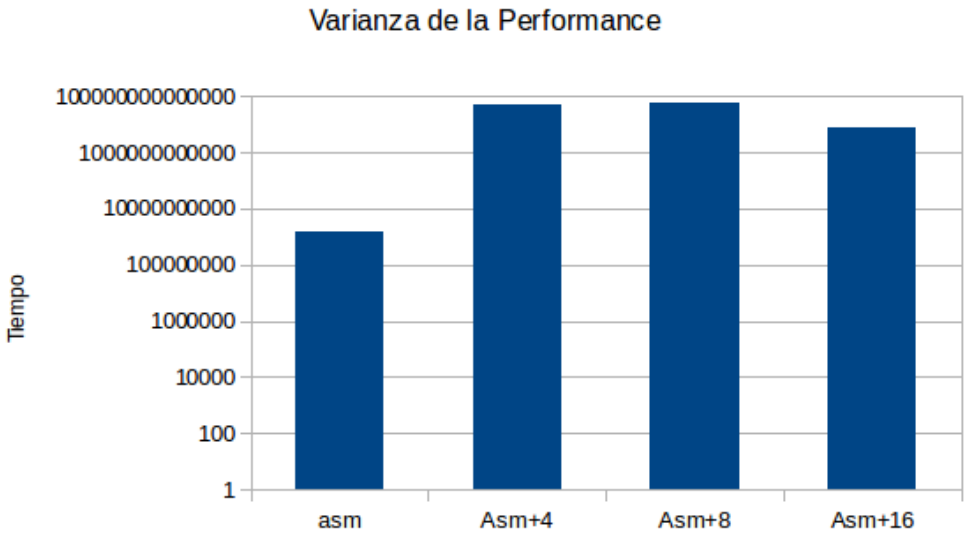


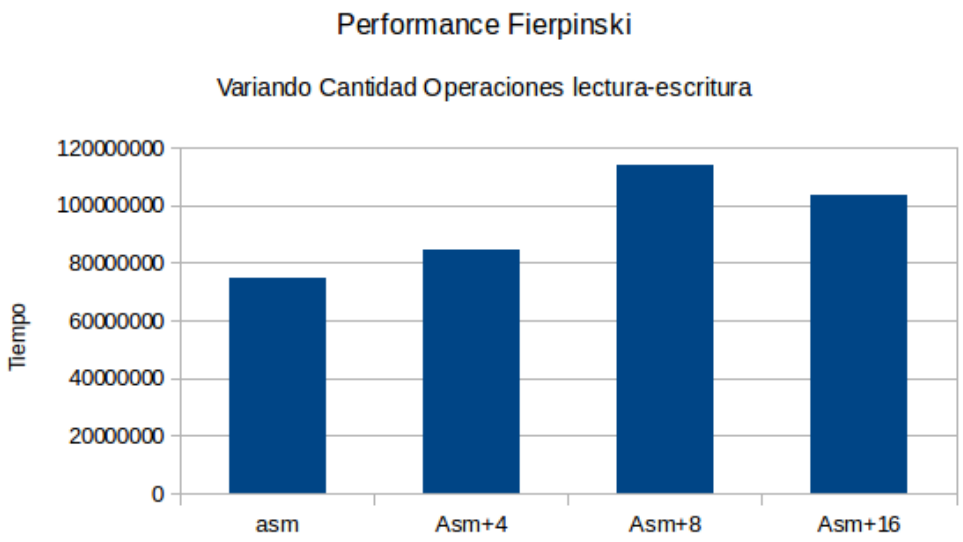
Puede verse que en este caso nuestro modelo que toma y calcula de a 4 pixcels utilizando instrucciones SIMD es incluso mejor que la versión de C con mayor grado de optimización.

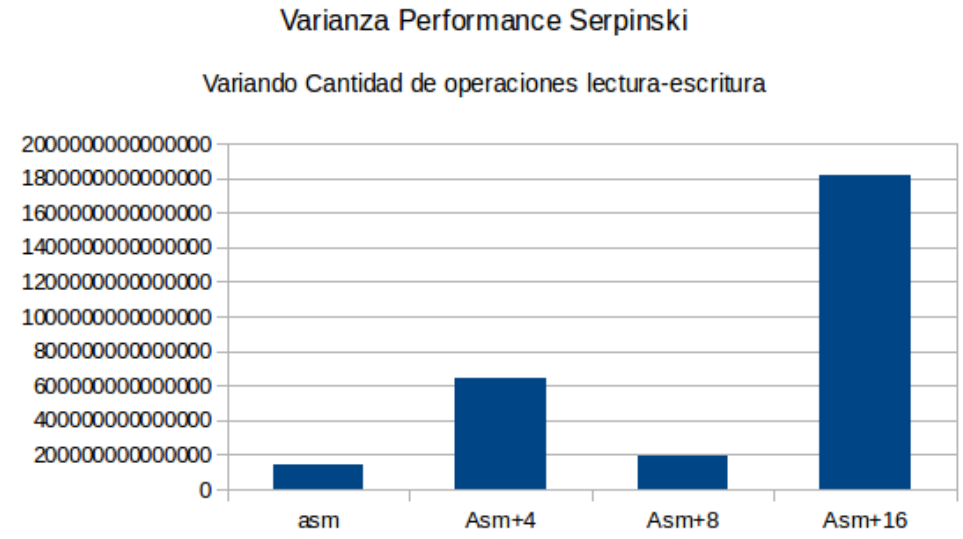
4.2. cpu vs. bus de memoria en Sierpinski

HACER =)









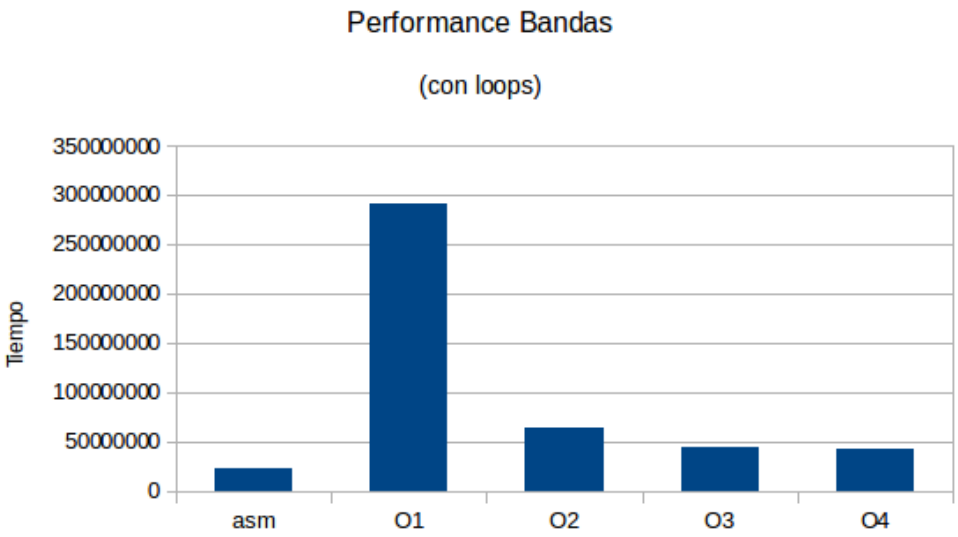
5. Bandas

5.1. Diferencias de performance en Bandas

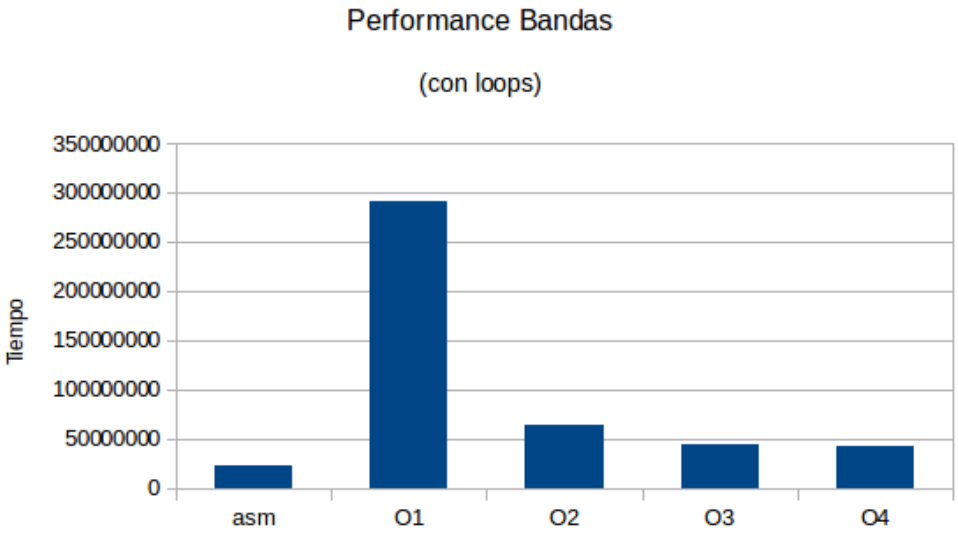
Para el algoritmo de bandas se nos presenta otro desafío: devemos tomar los tres colores de la imagen(r,g,b), sumarlos, y luego comparar cada uno de ellos para ver si se encuentra en un rango determinado.
Para resolver la primera problematica usaremos las instrucciones $phaddw$, que nos perimitira atravez de una suma orizontal, sumar los valores r,g,b de manera comoda solamente utilizando dos registros.
El segundo problema será comparar estos valores obtenidos en la suma de una manera eficiente. Querriamos compararlos todos a la vez y a partir de esas comparaciones determinar que valores deverá ir en cada pixcel. Esta se resolverá utililizando broadcasting. El algormitmo irá comparando en cada paso contra un valor y en caso de cumplirse una condicion, restará donde corresponda.

```
Algoritmo
```

Los resultados de los tiempos comparativos son los siguientes:



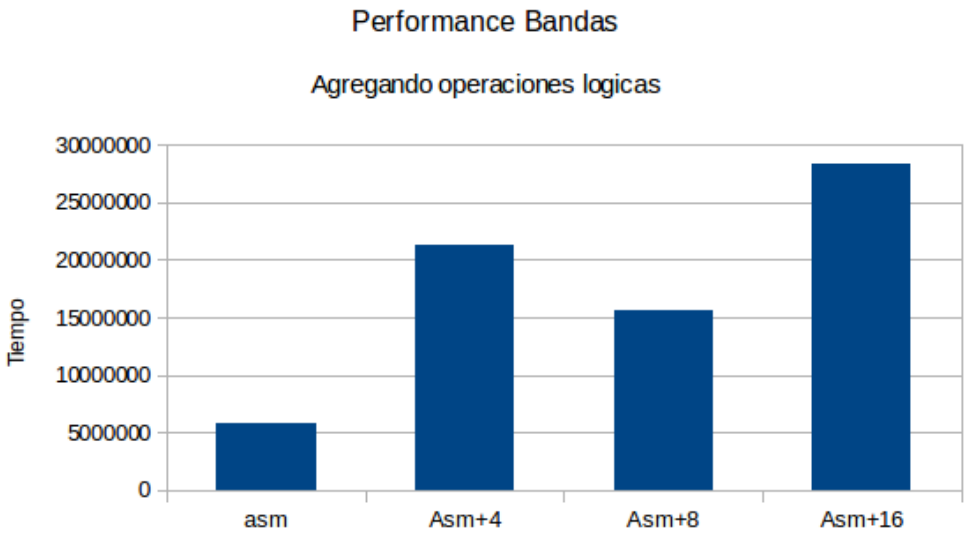
Y la varianza:

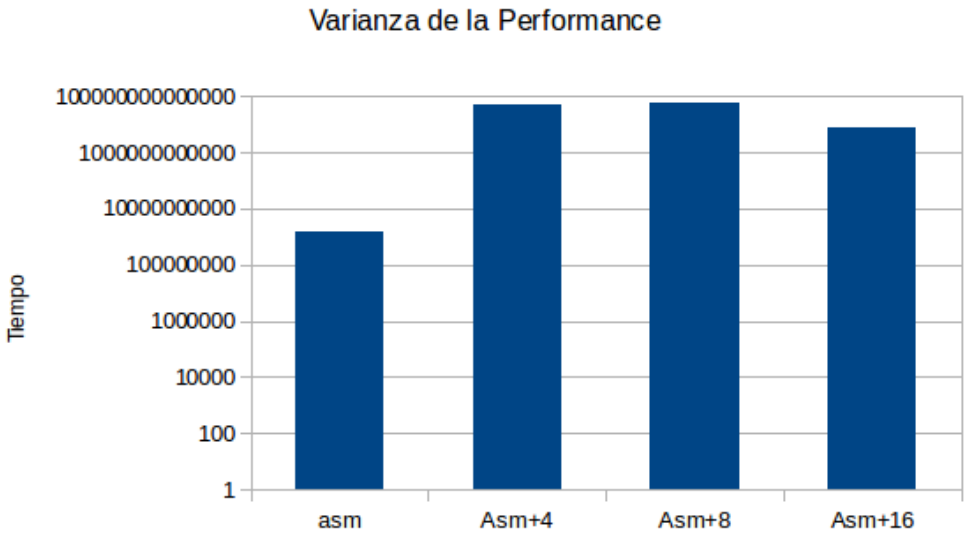


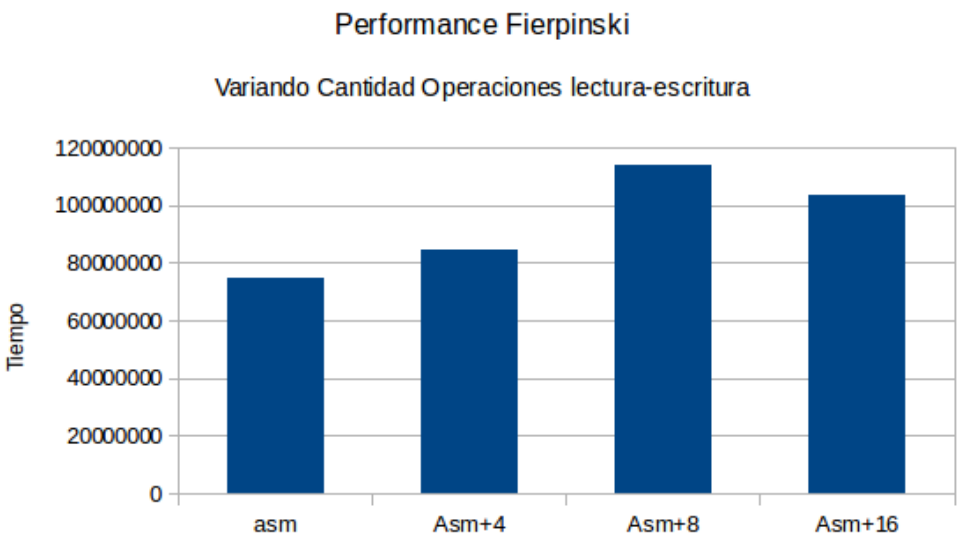
Nuestro algoritmo obtiene una performance mucho mayor a la del codigo sin optimizar, y una performance casi identica al del codigo C con el mayor grado de optimización.

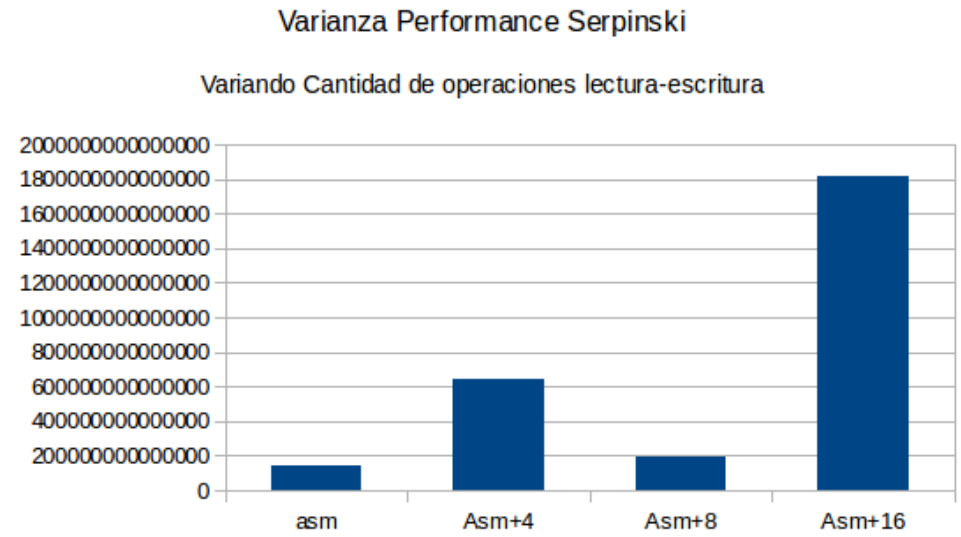
5.2. cpu vs. bus de memoria en Bandas

HACER =)






Performance Fierpinski
Variando Cantidad Operaciones lectura-escritura
Tiempo
120000000
100000000
80000000
60000000
40000000
20000000
0
asm
Asm+4
Asm+8
Asm+16


Varianza Performance Serpinski
Variando Cantidad de operaciones lectura-escritura
2000000000000000
1800000000000000
1600000000000000
1400000000000000
1200000000000000
1000000000000000
800000000000000
600000000000000
400000000000000
200000000000000
0
asm
Asm+4
Asm+8
Asm+16

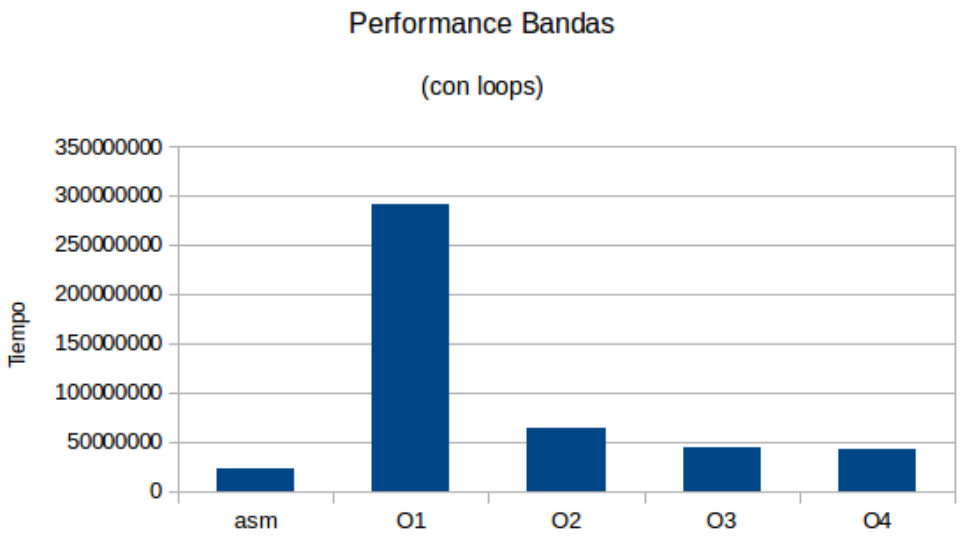
5.3. Motion Blur

5.4. Diferencias de performance en Motion Blur

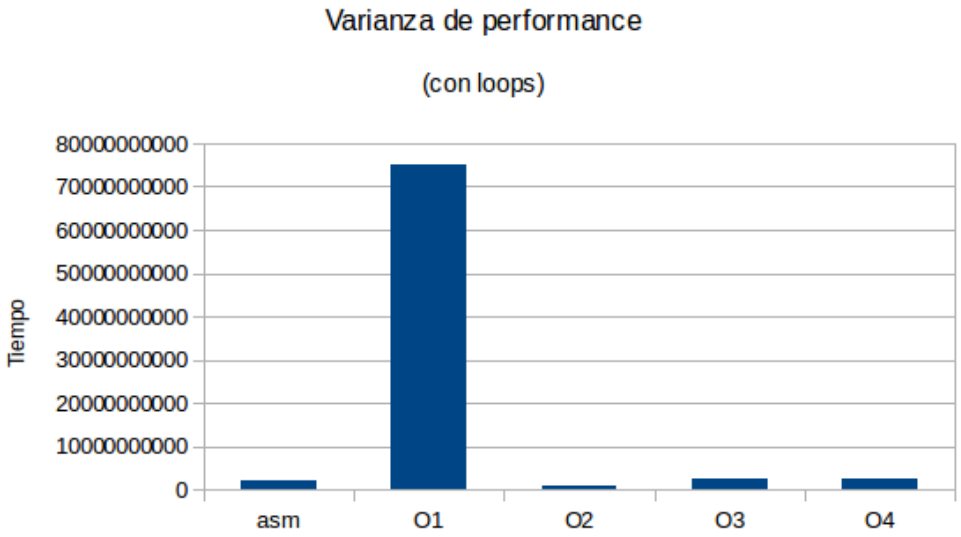
Para este algoritmo por cada pixcel se deben tomar 5 pixcels, multiplicar cada uno de los colores por 0.2 y luego sumarlos.
Para ello devemos tener cuidado de tomar correctamente los casos borde y no aplicar motion blur donde no corresponde.

```
Algoritmo
```

Al realizar el testing se obtuvieron los siguientes resultados:



Y la varianza:



En este caso nuestro algoritmo supera ampliamente incluso al codigo C con mayor grado de optimización.

6. Conclusiones y trabajo futuro