

# Informe Convolución CUDA

Comparación entre tres modelos de Convolución de una dimensión

Rafael Pinzón Rivera  
Christian Patiño Grisales



Universidad Tecnológica de Pereira  
Pereira  
Octubre 2015

# Índice general

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Introducción</b>                           | <b>4</b>  |
| 1.1. Filtro de Sobel . . . . .                   | 4         |
| 1.2. Convolución Básica . . . . .                | 5         |
| 1.3. Convolución con Constante . . . . .         | 5         |
| 1.4. Convolución con Tiles y Constante . . . . . | 5         |
| <b>2. Pruebas y Gráficas</b>                     | <b>6</b>  |
| 2.1. Image 1 . . . . .                           | 6         |
| 2.2. Image 2 . . . . .                           | 9         |
| 2.3. Image 3 . . . . .                           | 12        |
| 2.4. Image 4 . . . . .                           | 13        |
| 2.5. Image 5 . . . . .                           | 15        |
| 2.6. Image 6 . . . . .                           | 18        |
| <b>3. Conclusiones</b>                           | <b>22</b> |

# Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| 2.1. Img1.jpg Original . . . . .                  | 7  |
| 2.2. Img1.jpg Filtered . . . . .                  | 8  |
| 2.3. Img2.jpg Original . . . . .                  | 10 |
| 2.4. Img2.jpg Filtered . . . . .                  | 11 |
| 2.5. Img3.jpg Original . . . . .                  | 12 |
| 2.6. Img3.jpg Filtered . . . . .                  | 13 |
| 2.7. Img4.jpg Original . . . . .                  | 14 |
| 2.8. Img4.jpg Filtered . . . . .                  | 14 |
| 2.9. Img5.jpg Original . . . . .                  | 16 |
| 2.10. Img5.jpg Filtered . . . . .                 | 17 |
| 2.11. Img6.jpg Original . . . . .                 | 19 |
| 2.12. Img6.jpg Filtered . . . . .                 | 19 |
| 2.13. Gráfico de comparación de tiempos . . . . . | 20 |
| 2.14. Gráfico de Barras de aceleración . . . . .  | 20 |
| 2.15. Gráfico de Aceleración . . . . .            | 21 |

# Índice de cuadros

|      |  |    |
|------|--|----|
| 2.1. | Convolución Img1.jpg. tiempo: microsegundos. . . . . | 6  |
| 2.2. | Convolución Img2.jpg. tiempo: microsegundos. . . . . | 9  |
| 2.3. | Convolución Img3.jpg. tiempo: microsegundos. . . . . | 12 |
| 2.4. | Convolución Img4.jpg. tiempo: microsegundos. . . . . | 13 |
| 2.5. | Convolución Img5.jpg. tiempo: microsegundos. . . . . | 15 |
| 2.6. | Convolución Img6.jpg. tiempo: microsegundos. . . . . | 18 |

# Capítulo 1

## Introducción

La convolución es un operador matemático que transforma dos funciones  $f$  y  $g$  en una tercera función que en cierto sentido representa la magnitud en la que se superponen  $f$  y una versión trasladada e invertida de  $g$ . La mayoría de los filtros usan una matriz de convolución. En esta investigación se analizó el filtro de Sobel, cuyo objetivo es detectar los cambios de una imagen (su derivada).

### 1.1. Filtro de Sobel

Esta técnica fue creada por Irwin Sobel y Gary Feldman en Stanford Artificial Intelligence Laboratory (SAIL). Presentan lo que es la matriz gradiente 3x3 en 1968, la cual es técnicamente un operador operador de diferenciación discreto, generando una aproximación de la gradiente de la función de la intensidad de la imagen.

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \times I \quad (1.1)$$

Filtro Horizontal,  $I$ : Imagen.

$$G_y = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \times I \quad (1.2)$$

Filtro Vertical,  $I$ : Imagen.

## **1.2. Convolución Básica**

Se usan los hilos para que accedan a cada posición del vector y multipliquen por los elementos de la máscara. La matriz de entrada y la máscara vienen del host, desde la memoria global.

## **1.3. Convolución con Constante**

Se usa una variable tipo `__constant__` que es como si fuera una variable compartida, utilizada como memoria caché con mucho más rápido acceso que la memoria global, dónde se guarda la máscara (la matriz de filtro). Acelerando de manera notable con respecto a la forma básica. Lo malo de este método es que el “Ratio” Sigue siendo de uno, ya que solo se está realizando una operación por cada hilo.

## **1.4. Convolución con Tiles y Constante**

Se combina la máscara en memoria constante y el uso de memoria compartida para leer datos del vector de entrada. Para aprovechar así el uso del acceso a memoria, subiendo el “Ratio” a 3, desarrollando tres operaciones por hilo. Se utiliza el concepto de “Halo Elements” los cuales cargarán los datos de la izquierda y de la derecha del índice del hilo en cuestión.

# Capítulo 2

## Pruebas y Gráficas

### 2.1. Image 1

| Img1.jpg Total Size = 336400 |            |        |          |       |
|------------------------------|------------|--------|----------|-------|
| Test                         | Sequential | Basic  | Constant | Tiled |
| 1                            | 3624       | 333    | 224      | 223   |
| 2                            | 3575       | 328    | 224      | 225   |
| 3                            | 3184       | 315    | 216      | 214   |
| 4                            | 3190       | 309    | 214      | 213   |
| 5                            | 3185       | 309    | 226      | 215   |
| 6                            | 3184       | 318    | 217      | 215   |
| 7                            | 3181       | 313    | 216      | 214   |
| 8                            | 3580       | 329    | 224      | 223   |
| 9                            | 3187       | 314    | 213      | 213   |
| 10                           | 3182       | 307    | 212      | 214   |
| 11                           | 3197       | 315    | 216      | 216   |
| 12                           | 3183       | 311    | 215      | 213   |
| 13                           | 3187       | 316    | 217      | 215   |
| 14                           | 3184       | 317    | 216      | 214   |
| 15                           | 3190       | 308    | 214      | 210   |
| 16                           | 3188       | 311    | 218      | 216   |
| 17                           | 3186       | 308    | 217      | 212   |
| 18                           | 3187       | 316    | 214      | 215   |
| 19                           | 3575       | 323    | 222      | 219   |
| 20                           | 3184       | 311    | 216      | 217   |
| Average                      | 3266,65    | 315,55 | 217,55   | 215,8 |

Cuadro 2.1: Convolución Img1.jpg. tiempo: microsegundos.



Figura 2.1: Img1.jpg Original



Figura 2.2: Img1.jpg Filtered

## 2.2. Image 2

| Img2.jpg Total Size = 408320 |            |       |          |       |
|------------------------------|------------|-------|----------|-------|
| Test                         | Sequential | Basic | Constant | Tiled |
| 1                            | 4760       | 487   | 255      | 254   |
| 2                            | 4632       | 365   | 246      | 246   |
| 3                            | 4113       | 362   | 245      | 244   |
| 4                            | 4120       | 359   | 245      | 244   |
| 5                            | 4116       | 355   | 241      | 247   |
| 6                            | 4115       | 356   | 245      | 241   |
| 7                            | 4118       | 356   | 246      | 246   |
| 8                            | 4635       | 371   | 251      | 255   |
| 9                            | 4199       | 359   | 247      | 247   |
| 10                           | 4137       | 362   | 245      | 247   |
| 11                           | 4112       | 362   | 246      | 248   |
| 12                           | 4124       | 365   | 247      | 244   |
| 13                           | 4117       | 361   | 244      | 242   |
| 14                           | 4116       | 358   | 246      | 246   |
| 15                           | 4117       | 359   | 245      | 245   |
| 16                           | 4124       | 360   | 245      | 244   |
| 17                           | 4115       | 355   | 255      | 243   |
| 18                           | 4122       | 363   | 243      | 243   |
| 19                           | 4623       | 362   | 247      | 246   |
| 20                           | 4115       | 359   | 244      | 244   |
| Average                      | 4231,5     | 366,8 | 246,4    | 245,8 |

Cuadro 2.2: Convolución Img2.jpg. tiempo: microsegundos.



Figura 2.3: Img2.jpg Original



Figura 2.4: Img2.jpg Filtered

## 2.3. Image 3

| Img3.jpg Total Size = 1049088 |            |        |          |       |
|-------------------------------|------------|--------|----------|-------|
| Test                          | Sequential | Basic  | Constant | Tiled |
| 1                             | 10874      | 1190   | 588      | 583   |
| 2                             | 10516      | 847    | 573      | 571   |
| 3                             | 9357       | 842    | 571      | 569   |
| 4                             | 9366       | 843    | 572      | 551   |
| 5                             | 9354       | 838    | 570      | 567   |
| 6                             | 9348       | 850    | 572      | 574   |
| 7                             | 9346       | 844    | 572      | 572   |
| 8                             | 10569      | 862    | 588      | 587   |
| 9                             | 9407       | 866    | 575      | 576   |
| 10                            | 9356       | 841    | 570      | 571   |
| 11                            | 9438       | 857    | 576      | 573   |
| 12                            | 9354       | 842    | 567      | 566   |
| 13                            | 9354       | 846    | 572      | 571   |
| 14                            | 9363       | 842    | 568      | 569   |
| 15                            | 9361       | 846    | 573      | 575   |
| 16                            | 9352       | 841    | 567      | 566   |
| 17                            | 9358       | 847    | 575      | 575   |
| 18                            | 9358       | 844    | 569      | 570   |
| 19                            | 10536      | 853    | 578      | 577   |
| 20                            | 9363       | 846    | 571      | 571   |
| Average                       | 9616,5     | 864,35 | 573,35   | 571,7 |

Cuadro 2.3: Convolución Img3.jpg. tiempo: microsegundos.



Figura 2.5: Img3.jpg Original

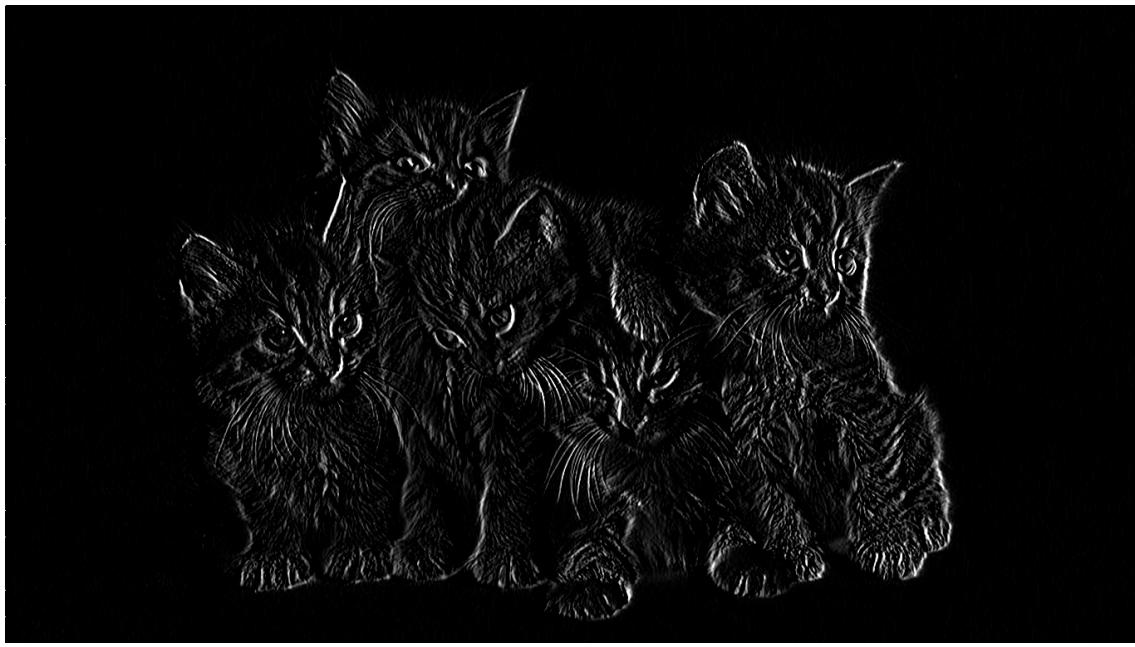


Figura 2.6: Img3.jpg Filtered

## 2.4. Image 4

| Img4.jpg Total Size = 4096000 |            |        |          |       |
|-------------------------------|------------|--------|----------|-------|
| Test                          | Sequential | Basic  | Constant | Tiled |
| 1                             | 38254      | 3298   | 1635     | 1638  |
| 2                             | 35271      | 2694   | 1634     | 1622  |
| 3                             | 35285      | 2749   | 1643     | 1648  |
| 4                             | 35254      | 2733   | 1646     | 1659  |
| 5                             | 37710      | 2735   | 1638     | 1652  |
| 6                             | 35508      | 2728   | 1641     | 1638  |
| 7                             | 35382      | 2752   | 1654     | 1638  |
| 8                             | 39450      | 2735   | 1643     | 1644  |
| 9                             | 35398      | 2760   | 1687     | 1676  |
| 10                            | 35296      | 2736   | 1638     | 1644  |
| 11                            | 35267      | 2734   | 1646     | 1649  |
| 12                            | 35345      | 2732   | 1629     | 1631  |
| 13                            | 35345      | 2750   | 1642     | 1645  |
| 14                            | 35416      | 2726   | 1627     | 1625  |
| 15                            | 35314      | 2747   | 1645     | 1653  |
| 16                            | 37246      | 2742   | 1649     | 1644  |
| 17                            | 35282      | 2746   | 1645     | 1645  |
| 18                            | 35389      | 2721   | 1636     | 1630  |
| 19                            | 39808      | 2748   | 1651     | 1646  |
| 20                            | 35286      | 2740   | 1643     | 1642  |
| Average                       | 9616,5     | 864,35 | 573,35   | 571,7 |

Cuadro 2.4: Convolución Img4.jpg. tiempo: microsegundos.



Figura 2.7: Img4.jpg Original



Figura 2.8: Img4.jpg Filtered

## 2.5. Image 5

| Img5.jpg Total Size = 22064172 |            |          |          |        |
|--------------------------------|------------|----------|----------|--------|
| Test                           | Sequential | Basic    | Constant | Tiled  |
| 1                              | 202281     | 15041    | 8019     | 8025   |
| 2                              | 201912     | 15552    | 7991     | 7990   |
| 3                              | 204844     | 15627    | 8015     | 8002   |
| 4                              | 202158     | 15327    | 8037     | 7997   |
| 5                              | 212209     | 15292    | 8004     | 8005   |
| 6                              | 201889     | 15458    | 8049     | 8109   |
| 7                              | 202188     | 15325    | 8045     | 8057   |
| 8                              | 202807     | 15652    | 8040     | 8050   |
| 9                              | 203495     | 14943    | 7958     | 7952   |
| 10                             | 218755     | 16140    | 8173     | 8073   |
| 11                             | 201913     | 15594    | 8020     | 8033   |
| 12                             | 202113     | 15534    | 7956     | 7979   |
| 13                             | 203782     | 16037    | 8238     | 8234   |
| 14                             | 202507     | 15155    | 8008     | 7956   |
| 15                             | 202218     | 15332    | 8028     | 8015   |
| 16                             | 202274     | 15354    | 8018     | 8016   |
| 17                             | 204213     | 15398    | 8035     | 8035   |
| 18                             | 220255     | 15627    | 8013     | 8039   |
| 19                             | 223218     | 16153    | 8186     | 8183   |
| 20                             | 225040     | 15440    | 8165     | 8176   |
| Average                        | 207003,6   | 15499,05 | 8049,9   | 8046,3 |

Cuadro 2.5: Convolución Img5.jpg. tiempo: microsegundos.



Figura 2.9: Img5.jpg Original



Figura 2.10: Img5.jpg Filtered

## 2.6. Image 6

| Img6.jpg Total Size = 16084992 |            |         |          |         |
|--------------------------------|------------|---------|----------|---------|
| Test                           | Sequential | Basic   | Constant | Tiled   |
| 1                              | 148669     | 11228   | 5885     | 5969    |
| 2                              | 149134     | 10833   | 5849     | 5860    |
| 3                              | 149106     | 10764   | 5870     | 5868    |
| 4                              | 150440     | 10732   | 5819     | 5804    |
| 5                              | 148752     | 10890   | 5888     | 5884    |
| 6                              | 148558     | 9879    | 5866     | 5863    |
| 7                              | 167099     | 10960   | 5873     | 5868    |
| 8                              | 148763     | 11159   | 5877     | 5882    |
| 9                              | 149392     | 10847   | 5869     | 5873    |
| 10                             | 167907     | 11135   | 5988     | 5991    |
| 11                             | 150995     | 10791   | 5888     | 5873    |
| 12                             | 148571     | 9830    | 5801     | 5810    |
| 13                             | 170552     | 10861   | 5862     | 5869    |
| 14                             | 148812     | 10747   | 5853     | 5852    |
| 15                             | 148715     | 10736   | 5836     | 5831    |
| 16                             | 148412     | 9887    | 5876     | 5887    |
| 17                             | 165187     | 10798   | 5881     | 5882    |
| 18                             | 151738     | 11127   | 5987     | 6090    |
| 19                             | 148791     | 11157   | 5874     | 5877    |
| 20                             | 164498     | 10965   | 5887     | 5868    |
| Average                        | 153704,6   | 10766,3 | 5876,45  | 5885,05 |

Cuadro 2.6: Convolución Img6.jpg. tiempo: microsegundos.



Figura 2.11: Img6.jpg Original

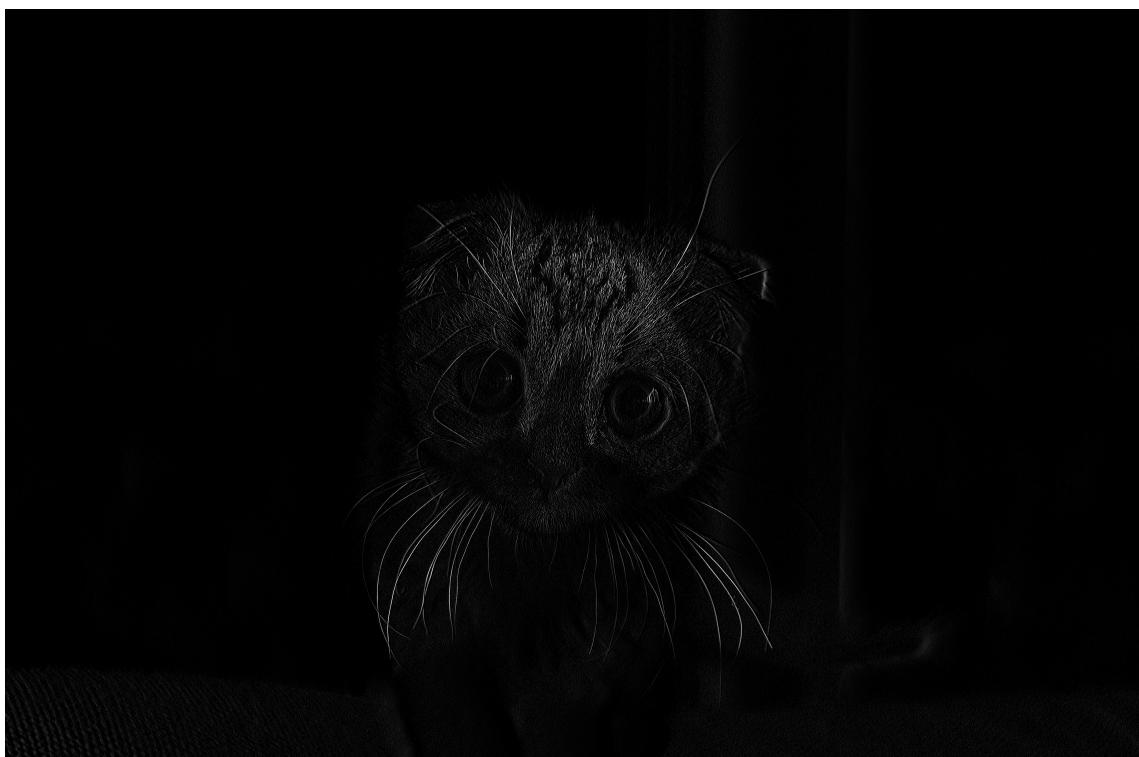


Figura 2.12: Img6.jpg Filtered

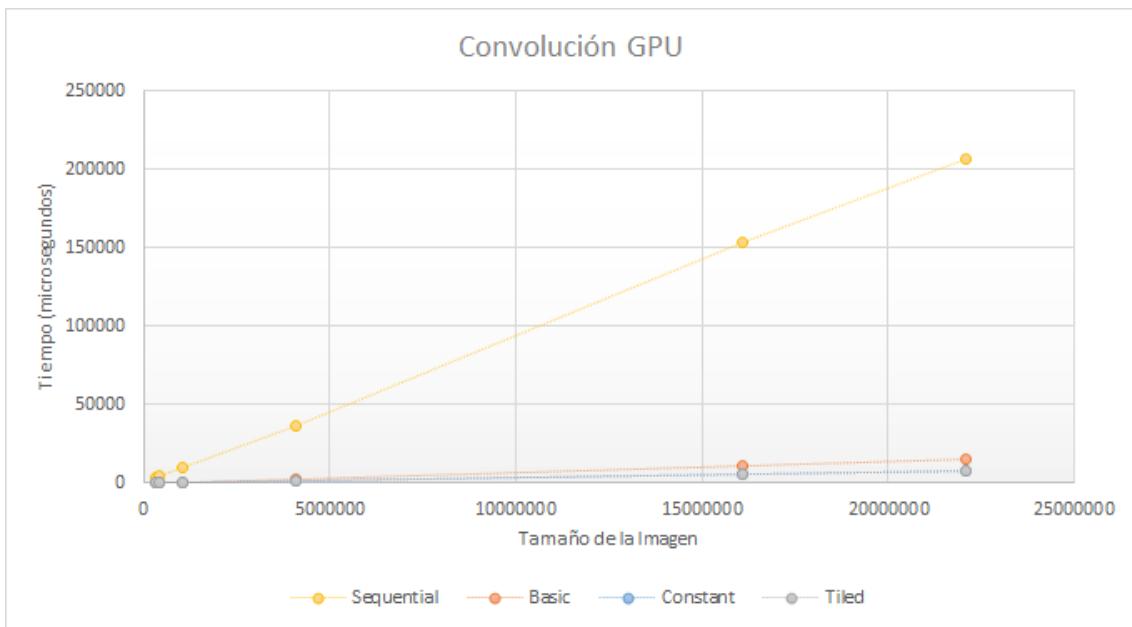


Figura 2.13: Gráfico de comparación de tiempos

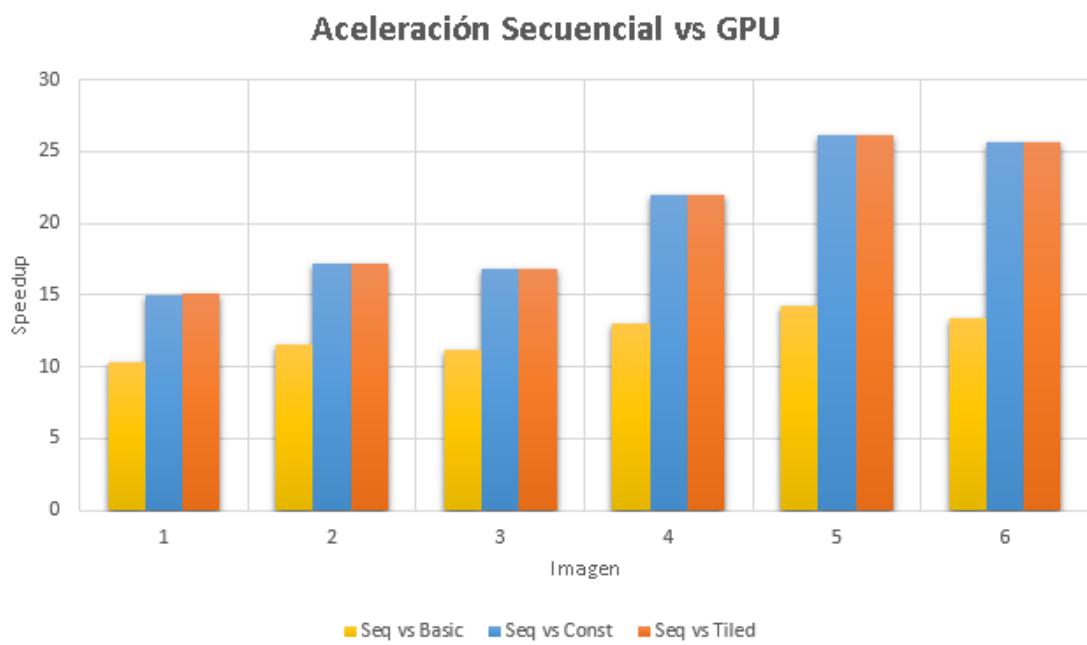


Figura 2.14: Gráfico de Barras de aceleración

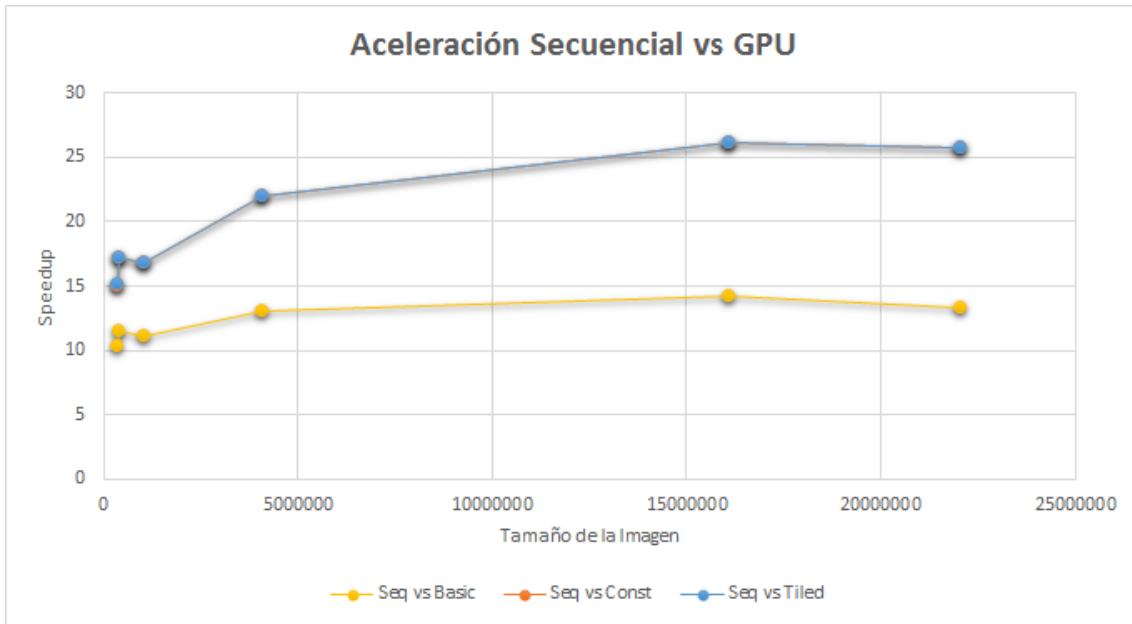


Figura 2.15: Gráfico de Aceleración

# Capítulo 3

## Conclusiones

1. Se pudo observar en la gráfica 2.13 que la convolución desarrollada en la GPU es mucho más veloz que la secuencial, esto debido a la parallelización optimiza mucho estas operaciones a través del uso de múltiples hilos.
2. Se puede ver que en las convoluciones realizadas por GPU, la versión con memoria compartida (Tiles) es la más veloz de las tres versiones, como se observa en las tablas, siempre es la que obtiene el menor tiempo.
3. El uso de memoria global no es una buena forma de implementar paralelización, ya que las implementaciones con memoria caché y memoria compartida son considerablemente mas eficientes.
4. Aunque no hayan imágenes mas pequeñas en las pruebas realizadas, el comportamiento de los tiempos de ejecución hace que el desempeño de los algoritmos paralelos sea menor que el del algoritmo secuencial cuando se manejan pocos datos, en este caso pixeles.

# Bibliografía

- [1] Victor Podlozhnyuk, *Image Convolution with CUDA*, 2007.