COMPARACIÓN ENTRE LOS ALGORITMOS DE ORDENAMIENTO INTERCAMBIO DIRECTO BIDIRECCIONAL Y COUNTING SORT EN TÉRMINOS DE EFICIENCIA

COMPARISON BETWEEN BIDIRECTIONAL DIRECT EXCHANGE AND COUNTING SORT SORTING ALGORITHMS IN TERMS OF EFFICIENCY

Russbell Juan Pablo Arratia Paz
Escuela de Ingeniería en Informática y Sistemas
Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann
Tacna, Perú
https://orcid.org/0009-0006-5163-7863
rjparratiap@unjbg.edu.pe

Alexander Efrain Contreras Rodriguez
Escuela de Ingeniería en Informática y Sistemas
Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann
Tacna, Perú
https://orcid.org/0009-0000-3931-6684
acontrerasr@unjbg.edu.pe

Danitza Carmen Capía Quiñonez
Escuela de Ingeniería en Informática y Sistemas
Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann
Tacna, Perú
https://orcid.org/0009-0006-1299-2520
dccapiaq@unjbg.edu.pe

Resumen

Se realizará una comparación entre los algoritmos de Intercambio Directo Bidireccional y Counting Sort, con el propósito de evaluar su eficiencia en la ordenación de datos numéricos. Para ello, se aplicarán pruebas experimentales que permitan analizar su rendimiento bajo distintas condiciones, considerando criterios como tiempo de ejecución, complejidad teórica y uso de memoria. Los resultados obtenidos permitirán determinar en qué contextos cada algoritmo presenta un mejor desempeño y cuál resulta más adecuado según las características de los datos y las necesidades de implementación.

Palabras claves: algoritmos, eficiencia, complejidad, eficiencia, notación O.

Abstract

A comparison will be made between the Bidirectional Direct Exchange and the Counting Sort algorithms in order to evaluate their efficiency in sorting numerical data. Experimental tests will be conducted to analyze their performance under different conditions, considering criteria such as execution time, theoretical complexity, and memory usage. The obtained results will allow determining in which contexts each algorithm shows better performance and which one is more suitable depending on the characteristics of the data and the implementation requirements.

Keywords: algorithms, efficiency, complexity, performance, Big O notation.

1. Introducción

Un algoritmo de ordenamiento es una clásica aplicación en computación, tanto aplicada como estudiada. Tiene de entrada elementos en secuencia donde se tiene una clave asignada a cada uno, la cual se permite comparar y ordenar (Arráiz et al. 1996)
Cuando hablamos de algoritmos de ordenamiento existen una gran variedad, con diferentes eficiencias y estructuras en código, por lo que resulta sensato buscar algoritmos que se adecuen a las necesidades requeridas, entonces entra el coste computacional para analizar rendimientos.
Se entiende por eficiencia de un algoritmo a los recursos de cómputo requerido para su ejecución, este concepto de eficiencia permite comparar resolviendo el mismo problema utilizando distintos algoritmos (Duch, 2007)
El objetivo del presente artículo científico es comparar los algoritmos de ordenamiento Counting Sort y Selección Directa Bidimensional y medir su rendimiento en distintos escenarios propuestos tanto en cantidad de datos como el rango y orden inicial, usando al tiempo como indicador de referencia.

Counting Sort

Counting sort es un algoritmo de ordenamiento no comparativo que ordena elementos contando la frecuencia de cada uno. Para ordenar, crea un arreglo auxiliar para almacenar el recuento de cada elemento, luego utiliza este recuento para determinar la posición final de cada elemento en el arreglo de salida.
Bajpai y Kots, 2014, nos dicen que el algoritmo de ordenación counting sort es eficiente y asume que todos los elementos a ordenar son de tipo entero en el rango de 1 a k, donde k es otro entero.
La idea básica del ordenamiento es determinar, para cada elemento, el número de elementos. Con esto se puede colocar los elementos directamente en su posición correcta.

Intercambio Directo Bidireccional

El algoritmo de intercambio bidireccional, también llamado burbuja bidireccional o shaking sort, es una mejora al algoritmo de burbuja que intercambia elementos uno al lado del otro este algo va en ambos sentidos, primero mueve las cosas grandes hacia abajo de izquierda a derecha, luego empuja las pequeñas hacia arriba de derecha a izquierda y se detiene cuando un pase completo en ambos sentidos no intercambia nada, lo que significa que la lista está toda ordenada

2. Metodología

Para la comparación se eligieron los algoritmos Selección Directa Bidimensional y Counting Sort, ambos pertenecientes a la categoría de ordenamientos, pero con enfoques distintos: el primero está basado en comparaciones, y el segundo en conteo de frecuencias. Para garantizar la consistencia de los resultados obtenidos, las pruebas experimentales se realizaron bajo un entorno controlado. Todas las ejecuciones se efectuaron en el mismo equipo y utilizando la misma configuración de hardware y software para evitar las variaciones externas. A continuación se facilitarán algunos componentes:

- CPU: Intel Ryzen 5 5600G
- Memoria Ram: 16 Gb
- Frecuencia base: 3.90 GHz
- Núcleos: 6 (se usará solo 1 para las pruebas)
- Hilos: 12 procesadores lógicos
- Sistema operativo: Windows 10 Pro 64 bits
- Compilador: Dev c++ Version 6.3

Para mayor detalle véase las figuras (1,2,3 y 4).

Se considera la complejidad teórica de ambos algoritmos y consumo de memoria: Counting sort, siendo O($n + k$) de carácter lineal pero su rendimiento se ve afectado al tener un rango de valores mayor al número de elementos (k>n, ocupando una memoria proporcional a O($n + k$). Intercambio bidireccional, siendo O(n^2) en el peor y caso promedio, y teniendo carácter lineal en el mejor de los casos, se caracteriza por su bajo consumo de memoria O(1) ya que realiza los cambios sobre el arreglo original. Se usarán datos aleatorios pero probándose el mismo dato en cada repetición por algoritmo, siendo un total de tres tamaños (1000, 10000,100000) realizándose 50 repeticiones en cada uno pero siendo 10 repeticiones por cada patrón de entrada. Se calcularon los tiempos en microsegundos (ms) haciendo uso de la función `std::chrono::steady_clock.` de la librería *chrono.* Se usará un contador dentro del código para contar el número de intercambios y comparaciones.

3. Resultados

- **Counting Sort**

  Nótese que counting no realiza comparaciones ni intercambios, además, el peor de los casos de counting sort es cuando k es mayor que n, por lo tanto los tiempos no se disparan.

- **Muestra de 1,000**

  El algoritmo counting tiene carácter lineal en el mejor, peor y casos promedios. Pero teniendo un efecto casi inmediato mientras "n" es menor. Por lo cual el tiempo promedio con arreglos de 1000 datos con las condiciones de aleatorios, ascendentes, descendentes, casi ordenados con repeticiones es 0 ms. Como se ve en la *Tabla 1.*

- **Muestra de 10,000**

  Counting sort es lineal en un tiempo temporal, por ello con arreglos de tamaño 10000 aún no se notan grandes cantidad de tiempo. Por lo cual el tiempo promedio con arreglos de 1000 datos con las condiciones de aleatorios, ascendentes, descendentes, casi ordenados con repeticiones es 0.11956 ms. Como se ve en la *Tabla 2.*

- **Muestra de 100,000**

  Al medir un tamaño de arreglo similar al rango de valores no se notan grandes cantidades de tiempo, sin embargo al ser n igual a 100000 el tiempo si aumento siendo algo notorio. Por lo cual el tiempo promedio con arreglos de 100000 datos con las condiciones de aleatorios, ascendentes, descendentes, casi ordenados con repeticiones es 0.87 ms. Como se ve en la *Tabla 3.*

-Muestra con K > N

Se probó un arreglo aleatorio con K=200 N y n=10 000 000 para notar el aumento de tiempo. siendo el tiempo 6.94E equivalente a 69 segundos, notando también el aumento considerable de memoria, aumentando hasta en 7gb mas de consumo.*w*

- **Intercambio Directo Bidireccional**

Observaciones:

- **Tiempos de ejecución**

  El tiempo aumenta de forma no lineal con n: al multiplicar n por 10, el tiempo se multiplica aproximadamente por 100–150.
  Esto confirma el comportamiento cuadrático ($O(n^2)$).

  En arreglos ascendentes, el tiempo es casi cero porque el algoritmo detecta que el arreglo ya está ordenado y termina rápidamente.

En arreglos descendentes, el tiempo es máximo, ya que se realizan la mayor cantidad de pasadas posibles.

En casi ordenados, el tiempo es bajo, mostrando que el algoritmo puede reducir iteraciones cuando el desorden es leve.

Los arreglos con duplicados tienen tiempos similares a los aleatorios, porque los intercambios siguen siendo numerosos.

Véase las tablas 4,7 y 10

- **Intercambios**

Los intercambios también crecen cuadráticamente, ya que en el peor caso el algoritmo compara e intercambia cada elemento múltiples veces.

En arreglos ascendentes, no hay intercambios (ya están ordenados). En descendentes, el número de intercambios es máximo, igual al de comparaciones.

En casi ordenados, los intercambios bajan mucho, mostrando que el algoritmo evita movimientos innecesarios si el arreglo ya está casi en orden.

En duplicados, el comportamiento se asemeja al aleatorio, pero ligeramente menor por repeticiones de valores.

Véase las tablas 5,8 y 11

- **Comparaciones**

El número de comparaciones crece aproximadamente con n^2, confirmando la complejidad teórica.
De n = 1000 / n=10000 / n=100000, las comparaciones se multiplican por ≈100.

En arreglos ascendentes, las comparaciones son lineales (O(n)) porque el algoritmo reconoce que ya no necesita más pasadas.

En arreglos descendentes, el valor es cercano al máximo posible $(n(n-1)/2)$, lo que representa el peor caso.

En casi ordenados, hay una reducción significativa de comparaciones, mostrando eficiencia parcial cuando el desorden es bajo.

Vease las tablas 6,9 y 12

4. Discusión

- **Costo computacional**

-Teórico

Teóricamente, Counting Sort tiene una complejidad temporal O(n + k), donde k es el rango de los valores del arreglo. Esto significa que su tiempo de ejecución crece de manera casi lineal con respecto al tamaño de los datos, siempre que el rango no sea excesivamente grande. Además, su complejidad espacial también es O(n + k), ya que necesita arreglos adicionales para contar y almacenar los resultados. En cambio, la Selección Directa Bidireccional (o Shaker Sort) posee una complejidad temporal $O(n^2)$, lo que implica que el número de comparaciones e intercambios crece cuadráticamente al aumentar n, siendo mucho menos eficiente para tamaños grandes.

-Empírico

Los resultados experimentales confirman este comportamiento. Para n = 1,000, Counting Sort prácticamente no presenta tiempo significativo de ejecución, mientras que la Selección Directa Bidireccional alcanza un promedio de 0.87782 microsegundos. Cuando el tamaño del arreglo aumenta a n = 10,000, el tiempo de Counting Sort se mantiene muy bajo (0.11956 µs), mientras que el Bidireccional incrementa a 89.4851 µs. Finalmente, con n = 100,000, Counting Sort solo requiere 0.73778 µs en promedio, frente a los 10,551.0165 µs del método bidireccional. Esto demuestra que el crecimiento del costo temporal en Counting Sort es casi lineal, mientras que en la Selección Directa Bidireccional es exponencial.

- **Comparación de resultados**

Para n=1000:

Para tamaños pequeños, ambos algoritmos terminan muy rápido.

Counting Sort es inmediato (≈0 µs), mientras que Shaker Sort ya muestra valores perceptibles.

Diferencia leve, pero Counting Sort es más constante en cualquier tipo de arreglo.

Bidireccional mejora en arreglos ordenados (0 µs), lo que indica detección temprana de orden.

Para n=10000:

El tiempo de Counting Sort se mantiene casi constante y extremadamente bajo (≈0.1 µs).

En cambio, Shaker Sort se vuelve mucho más lento (hasta 193 µs en descendente).

La diferencia promedio es ≈89 µs, lo que refleja un aumento de ~1000 veces más tiempo.

Nuevamente, en ascendente se mantiene rápido, confirmando que Shaker puede optimizar casos ya ordenados.

Para n=100000:

La diferencia ahora es abismal: el Bidireccional tarda más de 10,000 veces lo que Counting Sort.

Mientras Counting Sort sigue en tiempo casi constante (<1 µs), el Bidireccional escala hasta decenas de miles de microsegundos.

El crecimiento cuadrático del Bidireccional se hace evidente, frente al crecimiento lineal de Counting Sort.

Analisis general:

Counting Sort crece suavemente con nnn: el aumento es proporcional (lineal).

Intercambio Bidireccional crece exponencialmente: cuando nnn se multiplica ×10, el tiempo se multiplica ×100 o más.

La diferencia promedio pasa de menos de 1 µs (n=1000) a más de 10 mil µs (n=100000).

Esto confirma que Counting Sort es muchísimo más eficiente para volúmenes grandes, especialmente cuando el rango es acotado.

5. Conclusiones

En síntesis, el algoritmo Counting Sort al ser temporalmente lineal, tiene mayor eficacia respecto al algoritmo ShakerSort, ya que este último es de costo computacional cuadrática. Aunque en cuanto a memoria el ShakerSort obtiene ventaja al realizar el ordenamiento en el mismo arreglo.

En conclusión, el costo computacional de Counting Sort es considerablemente más bajo que el de la Selección Directa Bidireccional. Counting Sort mantiene un comportamiento estable y eficiente incluso con grandes volúmenes de datos, mientras que la Selección Directa Bidireccional presenta un aumento drástico del tiempo de ejecución conforme crece n. Por lo tanto, desde el punto de vista del costo computacional, Counting Sort es mucho más eficiente y escalable, aunque requiere un poco más de memoria auxiliar.

6. Tablas y Figuras

Figura 1

Información detallada sobre el sistema, hardware y sistema operativo

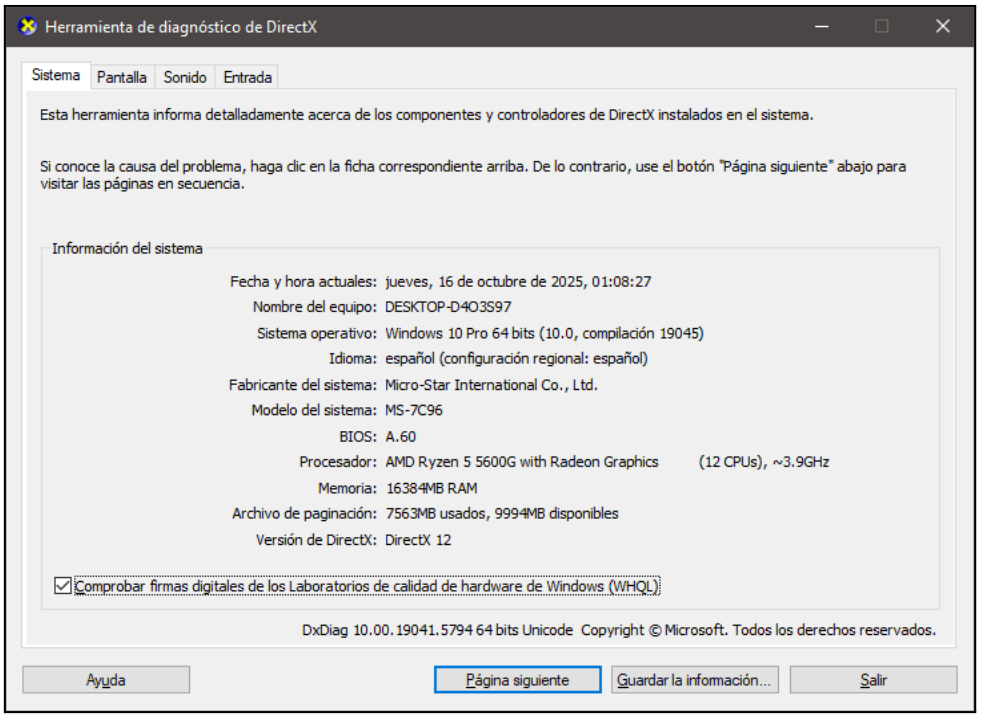


Figura 2

Información detallada sobre la unidad de procesamiento gráfico (GPU)

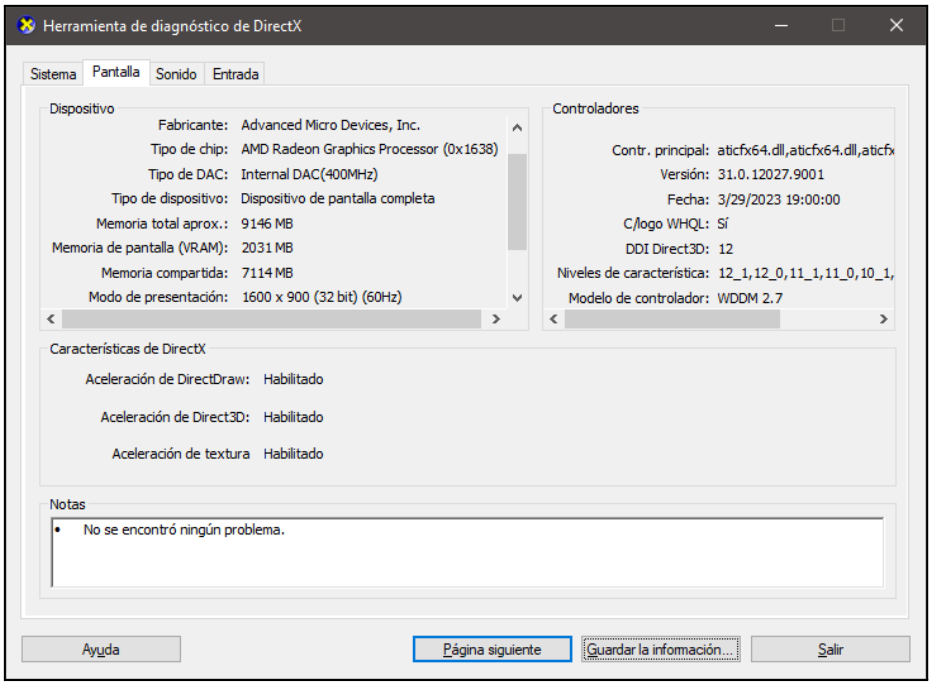


Figura 3

Información del rendimiento Unidad Central de Procesamiento (CPU) limitado a 1 núcleo

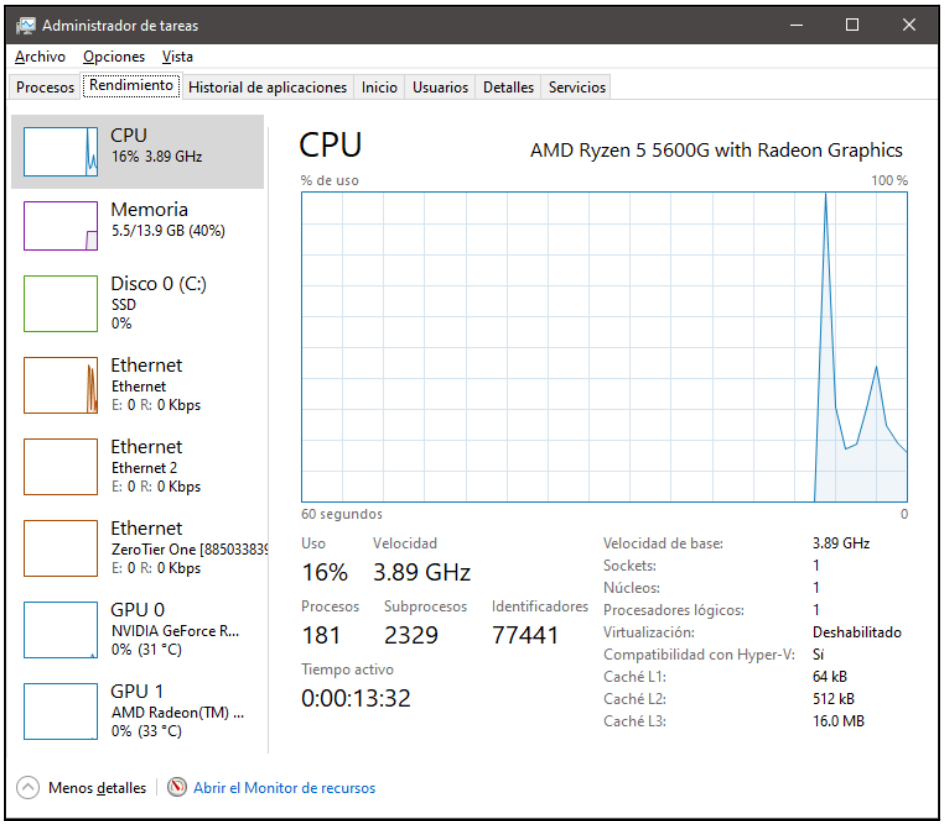


Figura 5

Información del compilador DEV C++ Versión 6.3

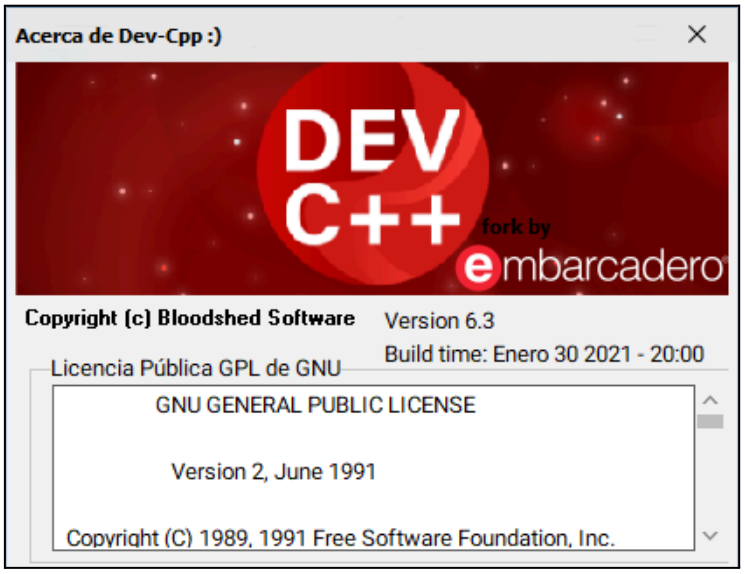


Tabla 1

Resultados de eficiencia del algoritmo Counting Sort cuando n=1000 y el rango=1000

Característica de datos	Tiempo en microsegundos										Tiempo
n=1000, rango=1000	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**Promedio**
Arreglo aleatorio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Arreglo ascendente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Arreglo descendente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Arreglo casi ordenado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Arreglo con duplicados	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
											0

Tabla 2

Resultados de eficiencia del algoritmo Counting Sort cuando n=10000 y el rango=10000

Característica de datos	Tiempo en microsegundos										Tiempo
n=10000, rango=10000	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**Promedio**
Arreglo aleatorio	0.000997	0	0.000997	0	0	0	0.000994	0.000998	0.001029	0	**0.0005015**
Arreglo ascendente	0.000998	0	0	0.000996	0	0	0	0	0.000997	0	**0.0002991**
Arreglo descendente	0.000999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0.0000999**
Arreglo casi ordenado	0.000997	0.000965	0	0.000997	0	0	0.000964	0	0	0	**0.0003923**
Arreglo con duplicados	0	0.000997	0.000997	0	0	0	0	0.000998	0.001001	0.000998	**0.0004991**
											0.00035838

Tabla 3

Resultados de eficiencia del algoritmo Counting Sort cuando n=100000 y el rango=100000

Característica de datos	Tiempo en microsegundos										Tiempo
n=100000, rango=10000	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**Promedio**
Arreglo aleatorio	0.002992	0.002959	0.001995	0.001995	0.002993	0.002993	0.001992	0.002958	0.002992	0.002991	**0.002686**
Arreglo ascendente	0.002026	0.001962	0.002027	0.001964	0.001995	0.000997	0.001994	0.001994	0.001994	0.001995	**0.0018948**
Arreglo descendente	0.001997	0.001993	0.000997	0.001997	0.002038	0.001955	0.000996	0.001996	0.001996	0.000997	**0.0016962**
Arreglo casi ordenado	0.001995	0.001994	0.001994	0.002994	0.001996	0.001995	0.000996	0.001993	0.001993	0.001995	**0.0019945**
Arreglo con duplicados	0.001994	0.00399	0.002993	0.002992	0.002991	0.013963	0.006981	0.002993	0.003989	0.000998	**0.0043884**
											0.00253198

Tabla 4

Resultados de eficiencia del algoritmo Counting Sort cuando 2 k > n

n=10000000, rango=200 n	***1***	***2***	***3***	***4***	***5***	***Promedio***
Arreglo k > n	*6.9396*	*5.75858*	*5.79799*	*5.90908*	*5.79804*	*6.040658*

Tabla 5

Resultados de eficiencia en tiempo del algoritmo Shaking Sort cuando n=1000 y el rango=1000

Característica de datos	Tiempo en microsegundos										Tiempo Promedio
n=1000, rango=1000	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	
Arreglo aleatorio	0.002994	0.00399	0.004019	0.002962	0.002991	0.002993	0.002994	0.00299	0.002992	0.00302	**0.0031945**
Arreglo ascendente	0	0	0	0	0.000997	0	0	0	0	0	**0.0000997**
Arreglo descendente	0.004986	0.004987	0.005985	0.004021	0.004988	0.003956	0.005984	0.004024	0.004984	0.005953	**0.0049868**
Arreglo casi ordenado	0	0.000998	0	0	0.000997	0	0.000997	0	0	0	**0.0002992**
Arreglo con duplicados	0.003959	0.003989	0.004021	0.00296	0.003034	0.003948	0.002992	0.003022	0.002993	0.002997	**0.0033915**
											0.00239434

Tabla 6

Resultados de comparaciones del algoritmo Shaking Sort cuando n=1000 y el rango=1000

Característica de datos	Comparaciones										Tiempo
n=10000, rango=10000	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**Promedio**
Arreglo aleatorio	366630	398475	376740	367659	372744	395760	380184	386925	382130	372240	**379948.7**
Arreglo ascendente	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	**999**
Arreglo descendente	499500	499500	499500	499500	499500	499500	499500	499500	499500	499500	**499500**
Arreglo casi ordenado	51569	49674	51569	53460	45872	57230	53460	60984	53460	51569	**52884.7**
Arreglo con duplicados	389285	382130	375249	372240	368172	381645	377729	392084	375747	385019	**379930**
											262652.48

Tabla 7

Resultados de eficiencia en intercambios del algoritmo Shaking Sort cuando n=1000 y el rango=1000

Característica de datos	Intercambios										Tiempo
n=10000, rango=10000	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**Promedio**

Arreglo aleatorio	240277	263063	253527	248745	245158	260792	243857	257054	249554	247024	**250905.1**
Arreglo ascendente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Arreglo descendente	499500	499500	499500	499500	499500	499500	499500	499500	499500	499500	**499500**
Arreglo casi ordenado	31476	29526	30846	30540	32070	34324	33142	31970	37304	32022	**32322**
Arreglo con duplicados	254325	251495	248171	243108	242900	247083	248035	253012	242938	249925	**248099.2**
											206165.26

Tabla 8

Resultados de eficiencia en tiempo del algoritmo Shaking Sort cuando n=10000 y el rango=10000

Característica de datos	Tiempo en microsegundos										Tiempo
n=10000, rango=10000	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**Promedio**
Arreglo aleatorio	0.342085	0.348034	0.373632	0.345077	0.350975	0.34912	0.352257	0.348791	0.342053	0.347071	**0.3499095**
Arreglo ascendente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Arreglo descendente	0.697932	0.567514	0.522571	0.511665	0.529618	0.516959	0.522836	0.505197	0.500505	0.482213	**0.535701**
Arreglo casi ordenado	0.036899	0.036934	0.034954	0.03885	0.041889	0.034913	0.036933	0.036901	0.039403	0.037861	**0.0375537**
Arreglo con duplicados	0.385505	0.386997	0.375963	0.349619	0.372542	0.354053	0.368016	0.352348	0.365786	0.354053	**0.3664882**
											0.25793048

Tabla 9

Resultados de eficiencia en comparaciones del algoritmo Shaking Sort cuando n=10000 y el rango=10000

Característica de datos	*Comparaciones*										*Comparaciones Promedio*
n=10000, rango=10000	***1***	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***	***9***	***10***	
Arreglo aleatorio	37316870	37572380	38080479	37741275	37507497	37562409	37397310	37696680	37392290	37864725	**37613191.5**
Arreglo ascendente	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	**9999**
Arreglo descendente	49995000	49995000	49995000	49995000	49995000	49995000	49995000	49995000	49995000	49995000	**49995000**
Arreglo casi ordenado	4789214	4789214	4751172	4560722	5206620	4675040	4675040	4789214	4789214	4998159	**4802360.9**
Arreglo con duplicados	37190670	37607247	37542455	37205847	37532472	37362149	38361924	37417380	38158455	37437434	**37581603.3**
											26000430.94

Tabla 10

Resultados de eficiencia en intercambios del algoritmo Shaking Sort cuando n=10000 y el rango=10000

Característica de datos	*Intercambios*										*Intercambios Promedio*
n=10000, rango=10000	***1***	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***	***9***	***10***	
Arreglo aleatorio	24891714	24976231	25162961	25238639	25068335	24976780	24812254	25111558	24825986	25359575	**25042403.3**
Arreglo ascendente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Arreglo descendente	49995000	49995000	49995000	49995000	49995000	49995000	49995000	49995000	49995000	49995000	**49995000**
Arreglo casi ordenado	3084448	3153738	3109360	2980887	3353468	3113288	3064142	3147424	3162430	3105408	**3127459.3**
Arreglo con duplicados	24914476	25066977	25033484	24748945	24777997	24868376	25161482	24986545	25192548	24962824	**24971365.4**
											20627245.6

Tabla 11

Resultados de eficiencia en tiempo del algoritmo Shaking Sort cuando n=100000 y el rango=100000

Característica de datos	Tiempo en microsegundos										Tiempo
n=100000, rango=10000	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**Promedio**
Arreglo aleatorio	0.0163079	0.0155652	0.0169236	0.0164133	0.0148055	0.0136744	0.0164863	0.015984	0.0157083	0.0143169	**0.01561854**
Arreglo ascendente	0.0000009481 35	0.0000009324 33	0.0000010648 8	0.0000009803 23	0.0000010635 9	0.0000009808 09	0.0000010757 9	0.0000009 86246	0.0000010 1247	0.0000010 2964	**0.00000010 074316**
Arreglo descendente	0.0201738	0.017935	0.0187145	0.0208695	0.0210124	0.0185993	0.0191723	0.02 12627	0.02078	0.01 93951	**0.01979146**
Arreglo casi ordenado	0.0004242 75	0.0004273 36	0.0003807 79	0.0003939 77	0.0003720 12	0.0004316 95	0.0003736 49	0.00 0348 039	0.00 0415 232	0.00 0412 275	**0.00039792 69**
Arreglo con duplicados	0.0155181	0.0172884	0.0148217	0.0150983	0.0165574	0.0163194	0.0178859	0.01 70246	0.01 59074	0.01 60078	**0.0162429**
											0.01041018 5528632

Tabla 12

Resultados de eficiencia en comparaciones del algoritmo Shaking Sort cuando n=100000 y el rango=100000

Característica de datos	Comparaciones										Comparaciones Promedio
n=100000, rango=10000	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	
Arreglo aleatorio	3288 8104 78	3232 7595 90	3239 2553 81	3453 2842 42	3132 5517 74	3351 4448 60	3452 0090 77	3296 1732 71	3154 8019 71	33569 39270	**3295802991.4**
Arreglo ascendente	1004 59	9718 7	9651 3	9896 6	9340 3	1009 94	9772 7	9790 6	9860 6	10127 9	**98304**
Arreglo descendente	5183 9662 91	5027 2252 00	5340 8161 36	4962 9661 31	4833 3141 75	4965 3924 85	4680 1346 63	5371 4657 14	4889 0811 92	55197 65566	**5077412755.3**
Arreglo casi ordenado	9007 4292	9137 9183	9778 5939	8560 1344	8487 3796	9922 9542	9718 5686	9270 8199	9029 9922	95239 411	**92437731.4**
Arreglo con duplicados	3453 0987 74	3104 8699 45	3380 7417 00	3272 9672 57	3225 4213 15	2935 4840 86	3365 2761 17	3271 8842 33	3156 9652 90	31602 23983	**3232693270**
											2339689010.42

Tabla 13

Resultados de eficiencia en intercambios del algoritmo Shaking Sort cuando n=100000 y el rango=100000

Característica de datos	Intercambios										Intercambios Promedio
n=100000, rango=10000	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	
Arreglo aleatorio	2547 7044 43	2379 2748 85	2409 7047 20	2531 6239 85	2310 2226 24	2653 9147 06	2438 3558 59	237 365 153 8	243 121 108 1	253 776 755 2	**2461343139.3**
Arreglo ascendente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Arreglo descendente	4861 7082 30	4891 0545 40	5052 3016 18	4881 4366 62	5540 6740 42	4862 3186 64	5197 9907 14	498 071 893 5	454 756 692 6	454 381 776 8	**4935958809.9**
Arreglo casi ordenado	9136 9671	9050 2548	8913 0260	9042 9433	8953 3102	8685 1422	9257 5997	917 888 90	853 173 67	872 317 67	**89473045.7**
Arreglo con duplicados	2522 3582 48	2488 3053 71	2573 0243 30	2326 7355 83	2367 7364 15	2344 4064 91	2559 4552 63	240 561 773 7	249 318 839 9	251 085 152 6	**2459167936.3**

1989188586.24

Tabla 14

Comparación de eficiencia en tiempo del algoritmo Shaking Sort cuando n=1000 y el rango=1000

n=1000, rango=1000	Counting sort	Selección Directa Bidireccional	Diferencia
Arreglo aleatorio	0	0.0031945	0.0031945
Arreglo ascendente	0	0.0000997	0.0000997
Arreglo descendente	0	0.0049868	0.0049868
Arreglo casi ordenado	0	0.0002992	0.0002992
Arreglo con duplicados	0	0.0033915	0.0033915
Promedio	**0**	**0.00239434**	**0.00239434**

Tabla 15

Comparación de eficiencia en tiempo del algoritmo Shaking Sort cuando n=10000 y el rango=10000

n=10000, rango=10000	Counting sort	Selección Directa Bidireccional	Diferencia
Arreglo aleatorio	0.0005015	0.3499095	0.349408
Arreglo ascendente	0.0002991	0	0.0002991
Arreglo descendente	0.0000999	0.535701	0.5356011
Arreglo casi ordenado	0.0003923	0.0375537	0.0371614
Arreglo con duplicados	0.0004991	0.3664882	0.3659891
Promedio	**0.00035838**	**0.25793048**	**0.2575721**

Tabla 16

Comparación de eficiencia en tiempo del algoritmo Shaking Sort cuando n=100000 y el rango=100000

n=100000, rango=100000	Counting sort	Selección Directa Bidireccional	Diferencia
Arreglo aleatorio	0.002686	15.61854	15.615854
Arreglo ascendente	0.0018948	0.00010074316	0.0017940568 4
Arreglo descendente	0.0016962	19.79146	19.7897638
Arreglo casi ordenado	0.0019945	0.3979269	0.3959324
Arreglo con duplicados	0.0043884	16.2429	16.2385116
Promedio	**0.00253198**	**10.410185528632**	**10.407653548632**

Tabla 17

Resumen de comparación de eficiencia en tiempo del algoritmo Shaking Sort en los diferentes tamaños de n y rango

Tamaño de n = rango	Counting sort	Selección Directa Bidireccional
n = 1,000	0	0.00239434
n = 10,000	0.00035838	0.25793048
n = 100,000	0.00035838	10.410185528632

Gráfico 1

Comparación de eficiencia en microsegundos de Counting Sort - Shaker Sort cuando n = 1000 y el rango = 1000

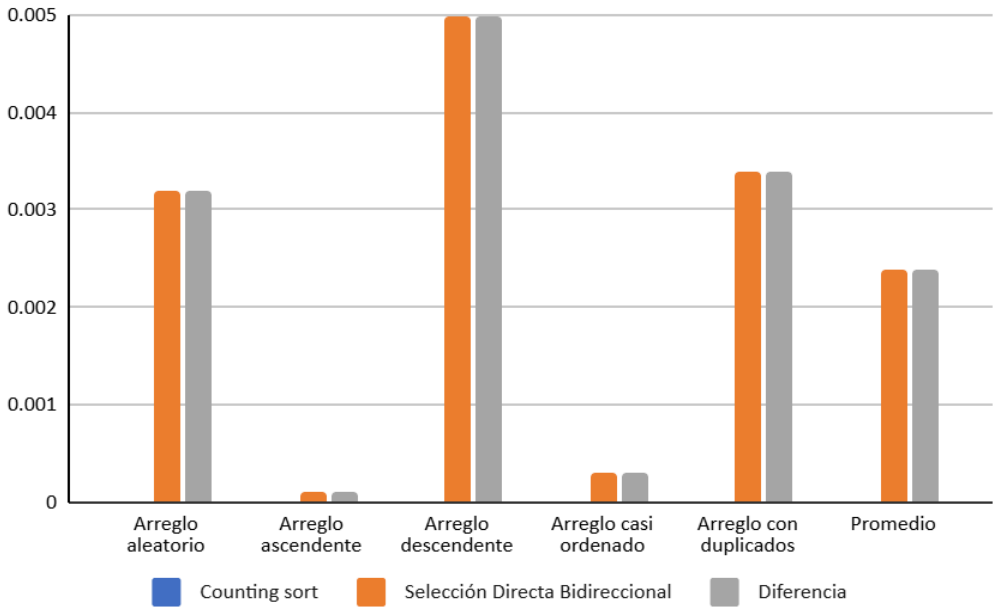


Gráfico 2

Comparación de eficiencia en microsegundos de Counting Sort - Shaker Sort cuando n = 10000 y el rango = 10000

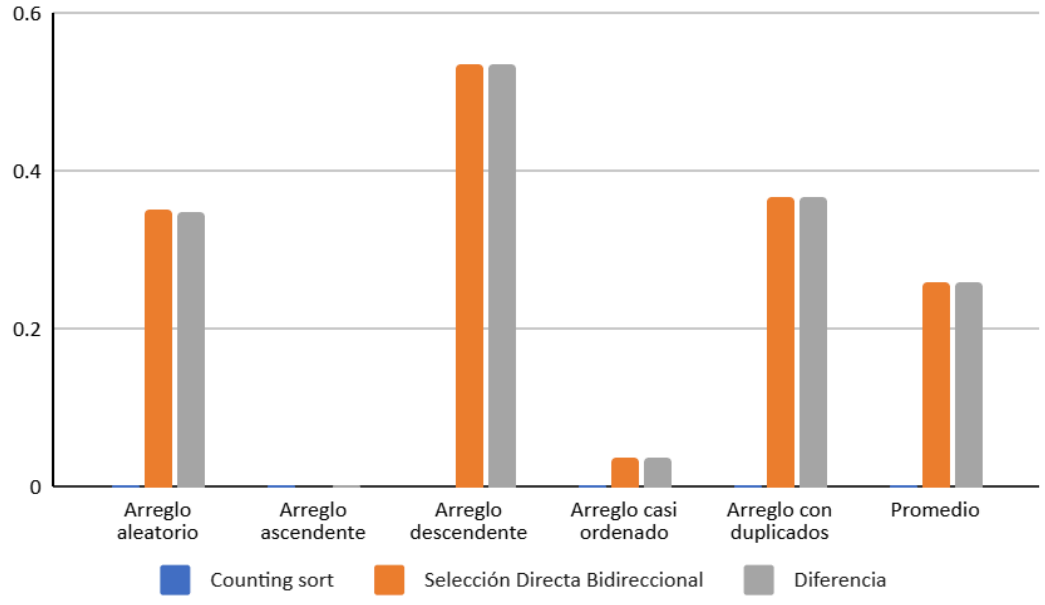


Gráfico 3

Comparación de eficiencia en microsegundos de Counting Sort - Shaker Sort cuando n = 100000 y el rango = 100000

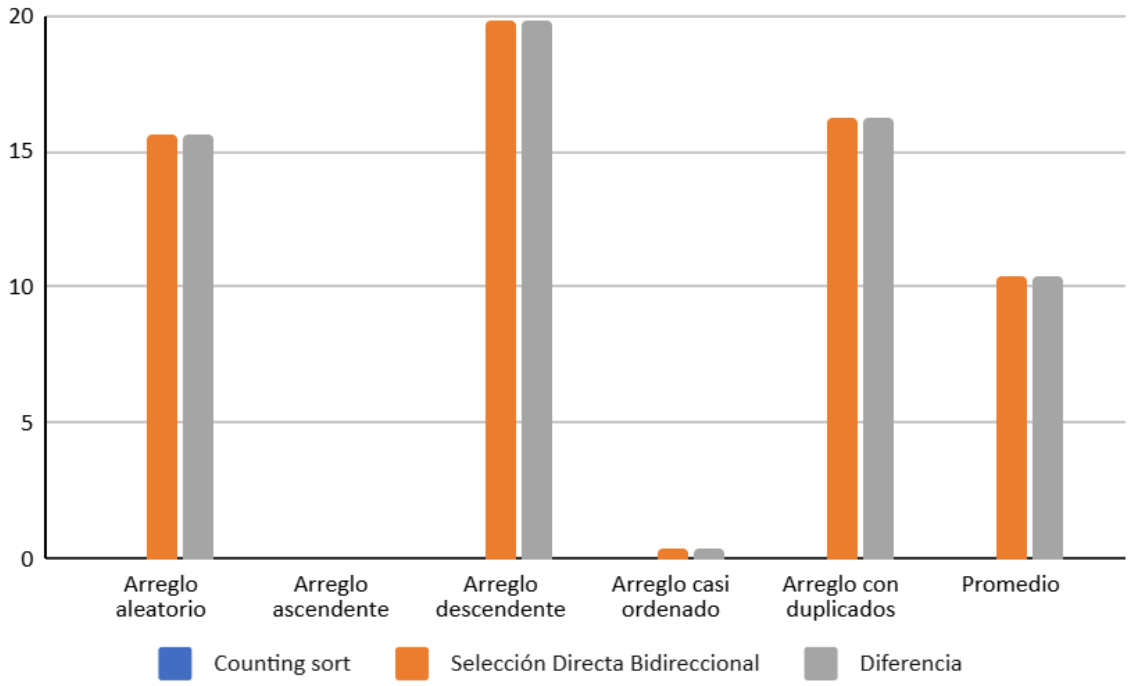
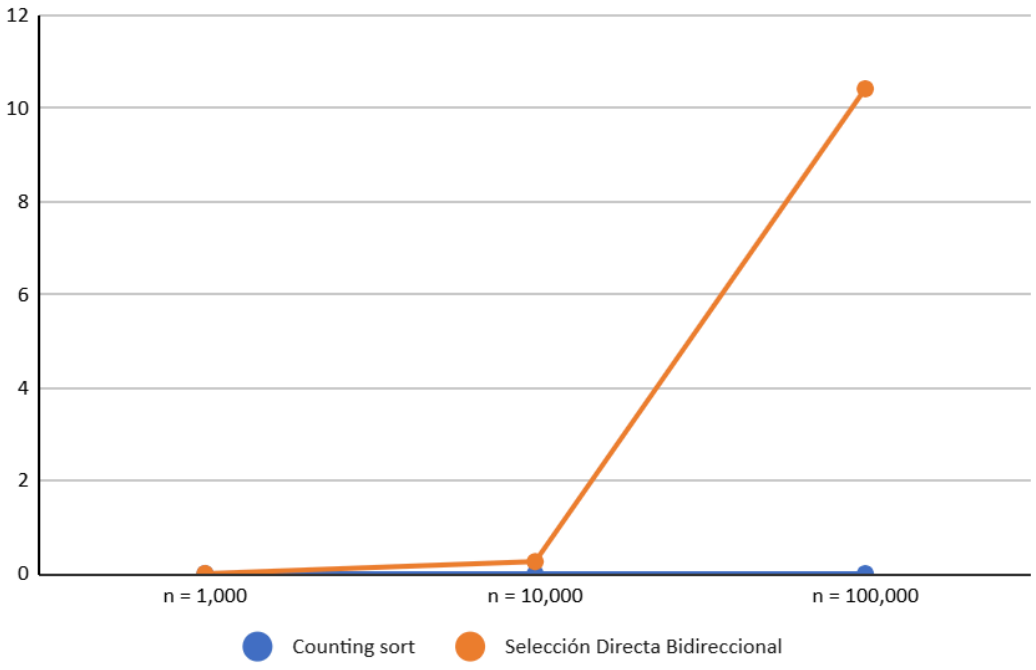


Gráfico 4

Resumen de comparación de eficiencia en microsegundos de Counting Sort - Shaker Sort en los 3 casos de n y rango para los datos



7. Agradecimientos

Agradecemos primero a Dios por habernos acompañado y guiado a lo largo de nuestra vida, y brindarnos experiencias llenas de aprendizaje y felicidad.
En segundo lugar a nuestros docentes por guiarnos, darnos conocimiento, y apoyo durante nuestro proceso de formación.
Finalmente a nuestras familias, por su constante apoyo, ánimo y motivación en los momentos más difíciles.

8. Referencias

- Arráiz et, al. (2004). El Impacto del Cache en Dos Algoritmos de Ordenamiento. Recuperado de: https://clei.org/proceedings_data/CLEI1996/CLEI1996%20-%20Tomo%201/Por%20capitulo_OCR/CLEI1996_371-382_OCR.pdf

- Duch, A. (2007). Análisis de Algoritmos. *Barcelona, Universidad Politécnica de Barcelona*. Recuperado de: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58103052/analisis-libre.pdf?1546463232=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DAnalisis_de_Algoritmos.pdf&Expires=1760602822&Signature=TOrWn~vA72vdQ95y6EAHRLh1XYFaDT~GvpoOR-F2BBGWmwUM4YuuYdUvy1JnelV29sZOn8IS0G5J7kXqqTnpLTOMCVZOlQgkeI8VTTOVbdlWDS6EeIh-5fWexGxZie3m0KNCP2bt8wMWd4S6LEI1tzY6jw95mcMRygtsvjdTU8dvQ2mbIyLrB50xN5MjL33KKuxe~CwcQXPmmZRBXeboHfYe-Y9gKphWNa1366Ss3~FfnK6AYGJWKNd4c~2iGbdlIB4i8SZCEstS1aLecmjx99XdrZTB7NCIfnAdM071A6JnCkqER7HzQYourGoG3iptILxYfAWls0tUGo~8FjwH2A__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Bajpai, K., & Kots, A. (2014). Implementing and analyzing an efficient version of counting sort (e-counting sort). International Journal of Computer Applications, 98(9), 1-2. Recuperado de: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/76736447/pxc3897427-libre.pdf?1639809014=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DImplementing_and_Analyzing_an_Efficient.pdf&Expires=1760987148&Signature=M~VZbpeyNU2rJgCx4P2ry3pEk10cicD3umZjySFRnZIfDHkYj31Oi8HVLkr4iKHeI2jUsV7OqEM5IceAl1lal4Or4xXFh4PT0bQ0GrykySIy~ht5sYnH48R0gqmDom6o2Y6LVy1YsFEgsY4gSK1rNSZudOEyuDHgexWj~Fi~jFBKP4vc1kkmnJCFYtvfXKHnDEI3flL1SWRKOoYNSsNIaY4Z4r6pi56qhmLyBzura1bbSG3rQkilRoZQv-D7E4-ekADkp88MDPp4aEW8e4kipY7msMa-AR-M9tN-riOgfQTr9HyRlf6PRMcpqWeDKsdeAomC51rtGV-ugSxK405eLg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA