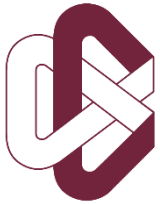
CONAHCYT

CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



CIMAT

OPENMP, EJEMPLOS

Francisco J. Hernández López

fcoj23@cimat.mx

EJEMPLO 1: SUMA DE VECTORES

- Suma de vectores (c_h = a_h + b_h)
  - Creamos los vectores "a_h", "b_h" y "c_h" en el host
  - Inicializamos con cualquier valor los vectores "a_h" y "b_h" (Paralelizar con OpenMP esta parte)
  - Sumamos a_h y b_h; el resultado lo guardamos en c_h (Paralelizar con OpenMP esta parte)
  - Desplegamos la suma de los vectores.

EJEMPLO: SUMA DE VECTORES EN OPENMP

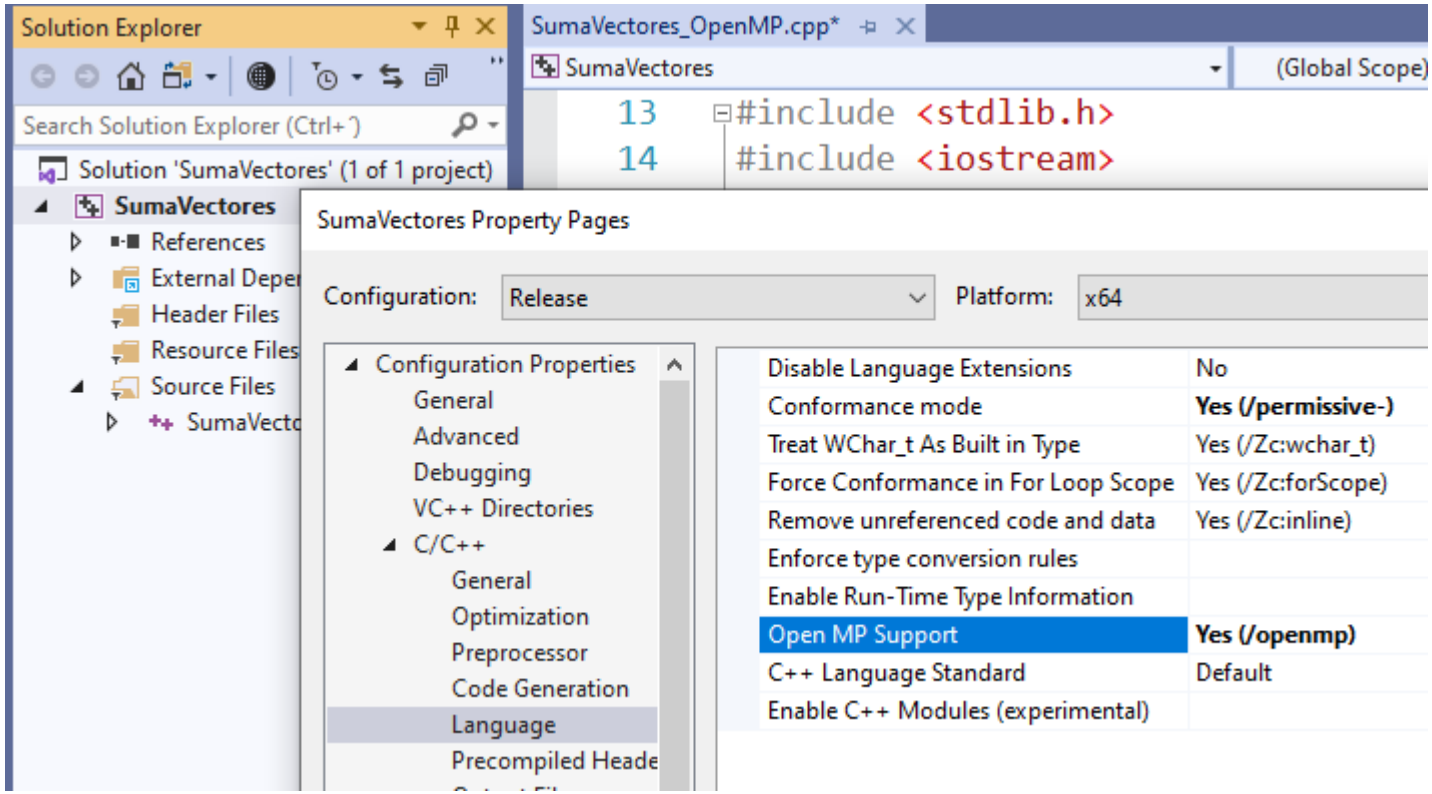
```
11  #include <stdio.h>
12  //#include <conio.h>
13  #include <stdlib.h>
14  #include <iostream>
15  #include <math.h>
16  //#include <sys\timeb.h>
17  #include <time.h>
18  //OpenMP
19  #include <omp.h>
36  int main(void){
37      float *a_h, *b_h, *c_h; //Punteros a arreglos en e
38      long int N = 100000000;  //Número de elementos en
39      long int i;
40      //struct timeb start, end;
41      double t_ini, t_fin, time_cpu_seconds;
44      size_t size_float = N * sizeof(float);
45      a_h = (float *)malloc(size_float); // Pedimos memoria en el Host
46      b_h = (float *)malloc(size_float);
47      c_h = (float *)malloc(size_float);//También se puede con cudaMallocHost
48
49      omp_set_num_threads(4);//Fijamos cuantos hilos vamos a lanzar
51      //Inicializamos los arreglos a,b en el Host
52  /*#pragma omp parallel shared(a_h,b_h,N) private(i)
53      {
54  #pragma omp for*/
55          for (i = 0; i<N; i++){
56              a_h[i] = (float)i;
57              b_h[i] = (float)(i + 1);
58          }
59      //}
68      t_ini = clock();
69      Suma_vectores(c_h, a_h, b_h, N);
70      t_fin = clock();
71      time_cpu_seconds = (t_fin - t_ini) / CLOCKS_PER_SEC;
```

```
21  void Suma_vectores(float *c, float *a, float *b, long int N)
22  {
23      long int i;
24  #pragma omp parallel shared(a,b,c,N) private(i)
25      {
26  #pragma omp for
27          for (i = 0; i<N; i++){
28              c[i] = a[i] + b[i];
29              //c[i] = cos(a[i]) + (int)(b[i])%3;
30          }
31      }
32  }
33
```

```
85      // Liberamos la memoria del Host
86      free(a_h);
87      free(b_h);
88      free(c_h);
89      return(0);
90  }
```

COMPILACIÓN

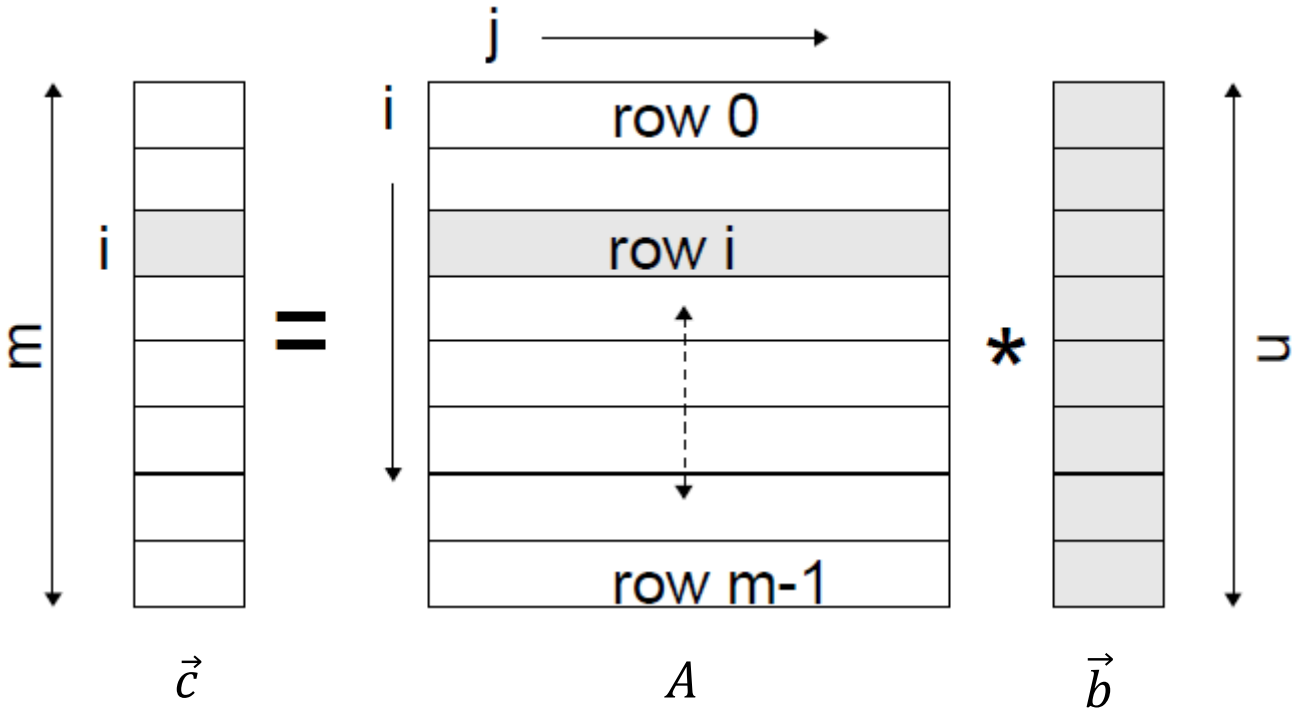
VStudio



Linux

```
g++ -fopenmp SumaVectores.cpp -o SumaVectores
gcc -fopenmp SumaVectores.cpp -o SumaVectores
```

MULTIPLICACIÓN MATRIZ-VECTOR



$$c_i = \sum_{j=1}^{n} A_{ij} * b_j \qquad i = 1, \ldots, n$$

MULT_MATRIZ_VECTOR (PARTE_1)

```
10  #include <iostream>
11  #include <stdio.h>
12  #include <stdlib.h>
13  #include <time.h>
14
15  void mostrar_datos(double *A, double *b, long int m, long int n);
16  void mult_mat_x_vector(double *c,double *A,double *b,long int m,long int n);
17  void mostrar_resultado(double* c, long int n);

22  int main(int argc,char *argv[]) {
23      double *c, *A, *b;
24      //int m = 10;
25      //int n = 15;
26      long int m = 10000;
27      long int n = 50000;
28      double t0, t1, time;//Medir tiempo de procesamiento

30      srand(0);
31      //Crear memoria
32      c = (double *)malloc(m*sizeof(double));
33      A = (double *)malloc(m*n * sizeof(double));
34      b = (double *)malloc(n * sizeof(double));
35      double bytes_reservados = m*n * sizeof(double) + m * sizeof(double) + n * sizeof(double);
36      printf("\nBytes reservados: %lf\n",bytes_reservados);
37      printf("GBytes reservados: %lf\n", bytes_reservados/(1024*1024*1024));
```

MULT_MATRIZ_VECTOR (PARTE_2)

```
39      t0 = clock();
40      //Llenando matriz A y vector b
41      for (long int i = 0; i < m;i++) {
42          for (long int j = 0; j < n; j++) {
43              long int idx = i*n + j;
44              //A[idx] = round(((double)rand() / RAND_MAX)*10);
45              A[idx] = 1.0;
46          }
47      }
48      for (long int j = 0; j < n; j++) {
49          //b[j] = round(((double)rand() / RAND_MAX) * 10);
50          b[j] = 2.0;
51      }
52      t1 = clock();
53      time = (t1 - t0) / CLOCKS_PER_SEC;
54      printf("\nTiempo de carga de datos: %lf seconds\n", time);
59      t0 = clock();//solo vamos a medir el tiempo
60      //Calcular el producto Matriz x Vector
61      mult_mat_x_vector(c, A, b, m, n);
62
63      t1 = clock();
64      time = (t1 - t0) / CLOCKS_PER_SEC;
```

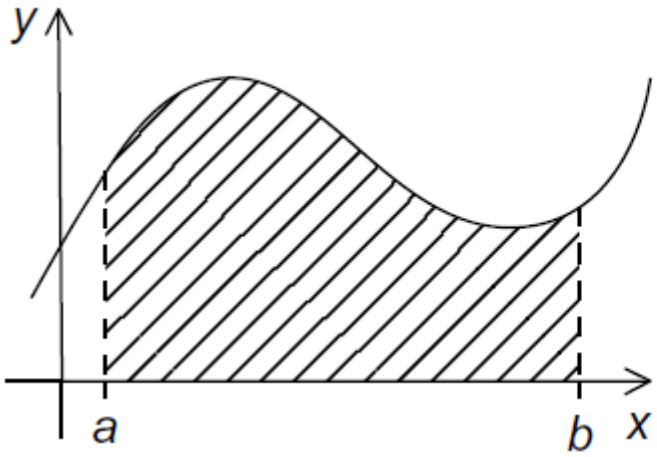
MULT_MATRIZ_VECTOR (PARTE_3)

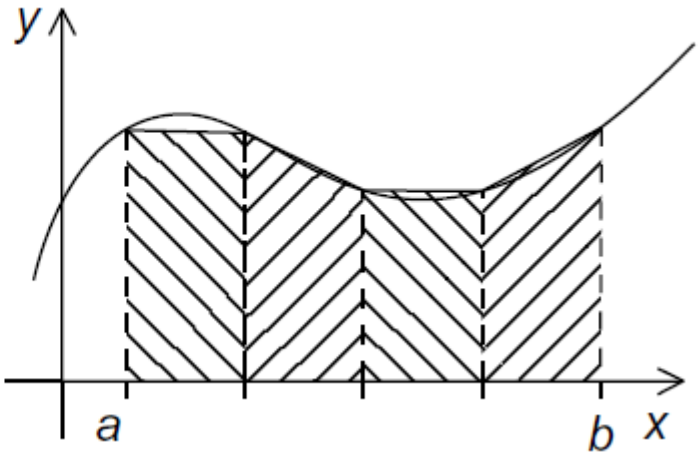
```
66      //Imprimir resultado
67      mostrar_resultado(c,10);
68
69      printf("\nTiempo de procesamiento Matriz x Vector: %lf seconds\n", time);
70      //Liberar memoria
71      free(c);
72      free(A);
73      free(b);
74
75      return(0);
76  }
94  void mult_mat_x_vector(double *c, double *A, double *b, long int m, long int n) {
95      long int i, j,idx;
96  //#pragma omp parallel for default(none) shared(c,A,b) private(i,j,idx) firstprivate(m,n)
97  #pragma omp parallel for default(none) shared(c,A,b,m,n) private(i,j,idx)
98      for (i = 0; i < m; i++) {
99          c[i] = 0.0;
100         for (j = 0; j < n; j++) {
101             idx = i*n + j;
102             c[i] += A[idx] * b[j];
103             //c[i] += cos(A[idx]) * sin(b[j]);//Solo para que tarde más tiempo el procesamiento...
104         }
105     }
106 }
123 void mostrar_resultado(double *c,long int n) {
124     printf("\nVector c_%d,1:\n", n);
125     for (long int i = 0; i < n; i++) {
126         printf("%.2lf ", c[i]);
127     }
128     printf("\n");
129 }
```

REGLA DEL TRAPECIO

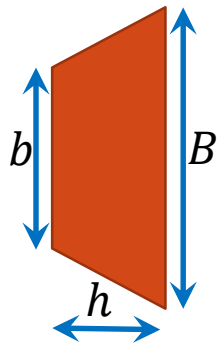
- Sea $f(x)$ una función continua en $[a, b]$, con $a < b$ dos números reales, podemos estimar el área bajo la curva como sigue:
  - Dividir el intervalo $[a, b]$ en n subintervalos
  - Considerando que cada subintervalo tiene la misma longitud $h = \frac{b-a}{n}$ con $x_i = a + ih, \forall\ i = 0,1,..n$ entonces una aproximación sería:

$$A_{aprox} = h\left[\frac{f(a) + f(b)}{2} + \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i)\right]$$





$$A_T = \frac{(B + b)h}{2}$$

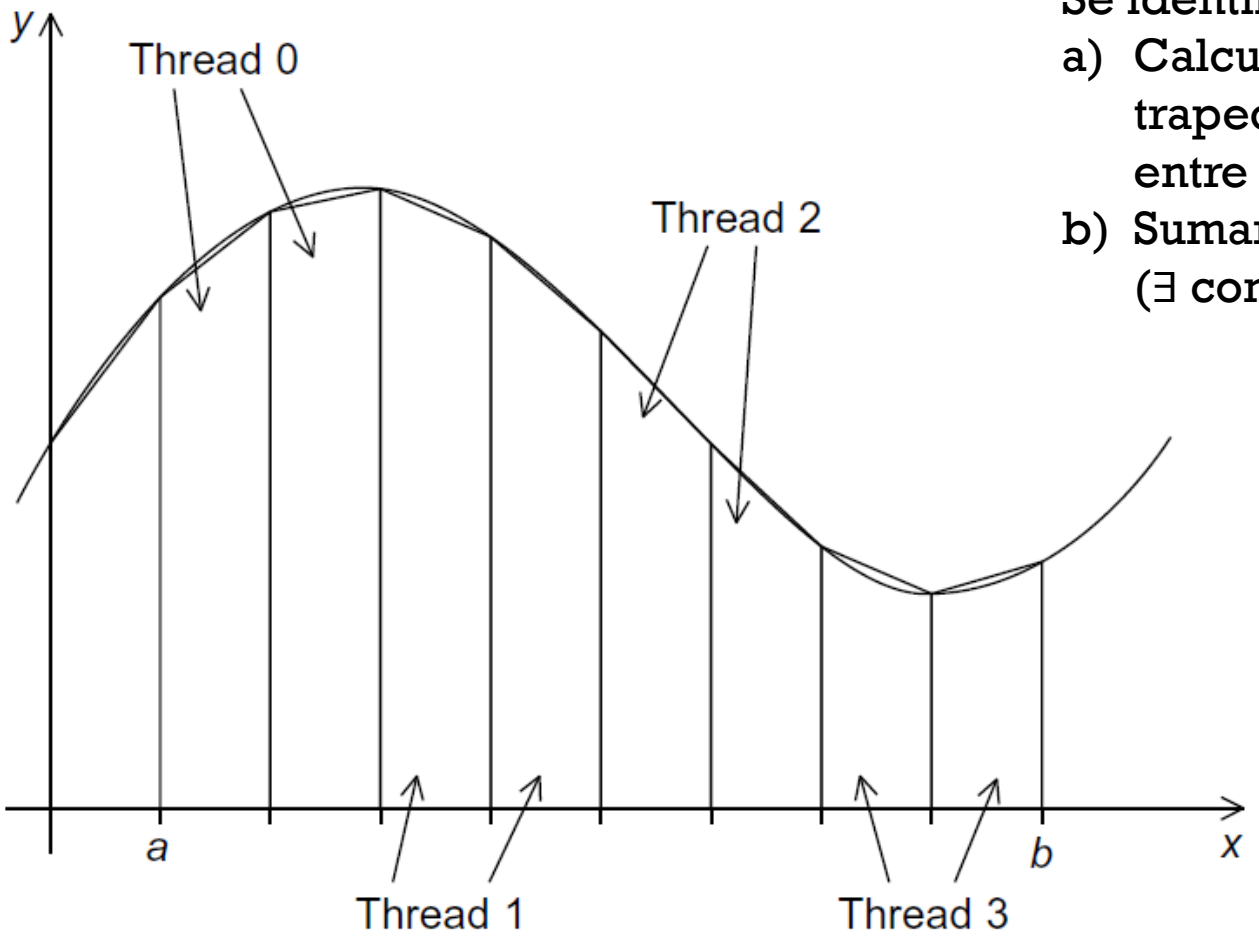


CÓDIGO SERIAL

```
21  int main(void){
22      //Variables
23      double t0, t1, time;
24      //int n = 1000000000;//Número de subintervalos //1000000000
25      long long int n = 10000000000;//Número de subintervalos //10000000000
26      double h, a, b;
27      double A_aprox = 0.0;//Área aproximada
28      long long int i;
29      double x_i;
30      int nthreads = 2;//Número de hilos a utilizar
31      //Valores Iniciales
32      a = 1.0;
33      b = 5.0;
34      h = (b - a) / n;//Tamaño del subintervalo o altura el trapecio
35      printf("\nNum_N: %lld", n);
36      /*****************************************************************/
37      /*Código Serial*/
38      t0 = clock();
39      A_aprox = (Evaluar_f(a) + Evaluar_f(b)) / 2.0;
40      for (i = 1; i <= n - 1; i++){
41          x_i = a + i*h;
42          A_aprox += Evaluar_f(x_i);
43      }
44      A_aprox = h*A_aprox;
45
46      t1 = clock();
47      time = (t1 - t0) / CLOCKS_PER_SEC;
48      printf("\nTiempo Secuencial: %lf seconds",time);
49      //Resultado
50      printf("\nÁrea aprox.: %lf\n",A_aprox);
```

```
73  double Evaluar_f(double x){
74      double f = 0.0;
75      //Función lineal
76      f = x;
77      //Función cuadrática
78      //f = x*x;
79
80      return(f);
81  }
```

REGLA DEL TRAPECIO EN PARALELO



Se identifican dos tipos de Trabajo:

a) Calculo de las áreas de cada trapecio (no hay comunicación entre los threads)
b) Sumar todas las áreas (∃ comunicación)

An introduction to parallel programming. Pacheco, Peter. Elsevier, 2011.

USANDO OPENMP (VERSIÓN 1)

```
55      /*****************************************************************/
56      /*Código Paralelo V1*/
57      //Op_1
58      t0 = clock();
59  #pragma omp parallel num_threads(nthreads)
60      {
61          AreaTrapecio(a, b, h, n, &A_aprox);
62      }
63      A_aprox = h*((Evaluar_f(a) + Evaluar_f(b)) / 2.0 + A_aprox);
64      //Resultado
65      t1 = clock();
66      time = (t1 - t0) / CLOCKS_PER_SEC;
67      printf("\nTiempo Paralelo V1: %lf seconds", time);
68      printf("\nÁrea aprox.: %lf\n", A_aprox);

130 void AreaTrapecio(double a, double b,double h, long long int n, double *A_aprox_global){
131
132     double x_i, A_aprox_local;
133     double local_a, local_b;
134     long long int i, local_n;
135     int nthreads = omp_get_num_threads(); //Cuantos hilos hay en total
136     int tid = omp_get_thread_num();     //El id del hilo
137
138     local_n = n / nthreads;//Division exacta, a cada hilo se le asigna el mismo
139                            //numero de subintervalos. Si la división no es exacta,
140                            //obtendremos una mala aproximación.
141     local_a = a + tid*local_n*h;
142     local_b = local_a + local_n*h;
143     //A_aprox_local = (Evaluar_f(local_a) + Evaluar_f(local_b)) / 2.0;
144     A_aprox_local = 0.0;
145     for (i = 1; i <= local_n - 1; i++){
146         x_i = local_a + i*h;
147         A_aprox_local += Evaluar_f(x_i);
148     }
149     //A_aprox_local = h*A_aprox_local;
150     #pragma omp critical
151         *A_aprox_global += A_aprox_local;
152 }
```

USANDO OPENMP (VERSIÓN 2)

```
37      /*Código Serial*/
38      t0 = clock();
39      A_aprox = (Evaluar_f(a) + Evaluar_f(b)) / 2.0;
40      for (i = 1; i <= n - 1; i++){
41          x_i = a + i*h;
42          A_aprox += Evaluar_f(x_i);
43      }
44      A_aprox = h*A_aprox;
```

```
71      /*********************************************************************/
72      /*Código Paralelo V2*/
73      t0 = clock();
74      //Op_2 Clausulas: Parallel For y Reduction
75      A_aprox = (Evaluar_f(a) + Evaluar_f(b)) / 2.0;//Aunque no inicializamos en 0.0,
76                                                    //dentro de la región paralela cada hilo inicializa su
77                                                    //copia de A_aprox en cero
78  #pragma omp parallel for num_threads(nthreads) reduction(+:A_aprox)
79      for (i = 1; i <= n - 1; i++) {
80          x_i = a + i * h;
81          A_aprox += Evaluar_f(x_i);
82      }//Cuando finaliza la región paralela el reduction agrega al resultado el valor que tenia la variable:
83       //A_aprox= (Evaluar_f(a) + Evaluar_f(b)) / 2.0 + A_aprox
84      A_aprox = h*A_aprox;
85      //Resultado
86      t1 = clock();
87      time = (t1 - t0) / CLOCKS_PER_SEC;
88      printf("\nTiempo Paralelo V2: %lf seconds", time);
89      printf("\nÁrea aprox.: %lf\n", A_aprox);
90      /*********************************************************************/
```

Operador	Valor Inicial
+	0
*	1
-	0
&	~0
|	0
^	0
&&	1
||	0

Inicialización de variables usando **reduction**

USANDO OPENMP (VERSIÓN 3)

```
91      /*******************************************************************/
92      /*Código Paralelo V3*/
93      t0 = clock();
94      //Op_3 Clausulas: Parallel For, Reduction private y firstprivate
95      A_aprox = 0.0;//Ojo: Ahora estamos inicializando en 0.0
96  #pragma omp parallel for num_threads(nthreads) reduction(+:A_aprox) private(x_i,i) firstprivate(a,h)
97      for (i = 1; i <= n - 1; i++) {
98          x_i = a + i * h;
99          A_aprox += Evaluar_f(x_i);
100     }
101     A_aprox = h * ((Evaluar_f(a) + Evaluar_f(b)) / 2.0 + A_aprox);
102
103     //Resultado
104     t1 = clock();
105     time = (t1 - t0) / CLOCKS_PER_SEC;
106     printf("\nTiempo Paralelo V3: %lf seconds", time);
107     printf("\nÁrea aprox.: %lf\n", A_aprox);
108     /*******************************************************************/
```

ESTIMACIÓN DE PI: π

- Una forma de obtener PI es usando la Serie de Leibniz:

$$\pi = 4\left(1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - \frac{1}{7} + \cdots\right) = 4\sum_{k=0}^{\infty}\frac{(-1)^k}{2k+1}$$

```c
#include <stdio.h>
#include <iostream>
#include <time.h>
//OpenMP
#include <omp.h>

int main(void){
    //Variables
    double t0, t1, time;
    long long int n = 1000000000;//Número muy grande de la sumatoria 1000000000
    long long int k;
    double pi_aprox;
    double factor = 1.0;
    double sum = 0.0;
    int nthreads = 2;
    printf("\nNum_n: %lld\n", n);
    /*****************************************************************/
    /*Código Serial (Serie de Leibniz)*/
    t0 = clock();
    for (k = 0; k < n; k++) {
        sum += factor / (2 * k + 1);
        factor = -factor;
    }
    pi_aprox = 4.0 * sum;
    t1 = clock();
    time = (t1 - t0) / CLOCKS_PER_SEC;
    printf("\nTiempo Secuencial: %lf seconds", time);
    printf("\nEl valor de PI es: %.08lf\n", pi_aprox);
```

Código Serial, compilamos y ejecutamos:

```
D:\franco_alien\Documents\CIMAT_MERIDA
El valor de PI es: 3.141593
Presione una tecla para continuar . . .
```

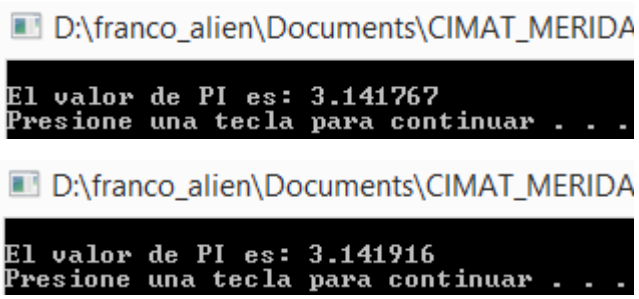
An introduction to parallel programming. Pacheco, Peter. Elsevier, 2011.

ESTIMACIÓN DE PI: π

- Código paralelo:

```
38      /*********************************************************************/
39      //Op_1 (Serie de Leibniz): Resultados no esperados, Ojo: factor es compartida
40      t0 = clock();
41      sum = 0.0;
42      factor = 1.0;
43  #pragma omp parallel for num_threads(nthreads) reduction(+:sum)
44      for (k = 0; k < n; k++) {
45          sum += factor / (2 * k + 1);
46          factor = -factor;
47      }
48      pi_aprox = 4.0 * sum;
49      t1 = clock();
50      time = (t1 - t0) / CLOCKS_PER_SEC;
51      printf("\nTiempo Paralelo V1 (Incorrecto): %lf seconds", time);
52      printf("\nEl valor de PI es: %.08lf\n", pi_aprox);
53      /*********************************************************************/
```

Compilamos y ejecutamos varias veces:



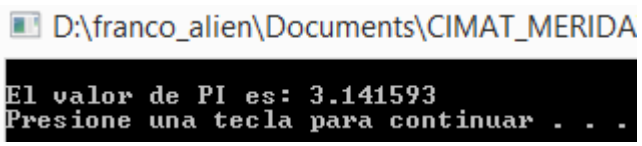
¿Por qué la aproximación es incorrecta y es diferente en cada ejecución?

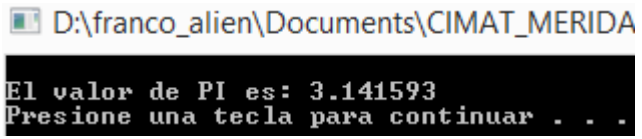
ESTIMACIÓN DE PI: π

- Código paralelo:

```
54      /*************************************************************
55      //Op_2 (Serie de Leibniz)
56      t0 = clock();
57      sum = 0.0;
58      factor = 1.0;
59  #pragma omp parallel for num_threads(nthreads) reduction(+:sum)\
60                                                  private(k,factor)
61      for (k = 0; k < n; k++){
62          factor = (k % 2 == 0) ? 1.0 : -1.0;
63          sum += factor / (2 * k + 1);
64          //factor = -factor;
65      }
66      pi_aprox = 4.0*sum;
67      t1 = clock();
68      time = (t1 - t0) / CLOCKS_PER_SEC;
69      printf("\nTiempo Paralelo V2: %lf seconds", time);
70      printf("\nEl valor de PI es: %.08lf\n", pi_aprox);
71
72      /*************************************************************
```

Compilamos y ejecutamos varias veces:





Ahora si obtenemos lo mismo que en la ejecución del código serial.

OTRA FORMA DE CALCULAR π USANDO OPENMP

$$\pi = \int_0^1 \frac{4}{1+x^2}\,dx$$

```
72      /*************************************************************/
73      //Op_3 Usando sumas de áreas de rectangulos, otra forma podría ser
74      //     usando la regla del trapecio.
75      t0 = clock();
76      double a = 0.0;
77      double b = 1.0;
78      double h = (b - a) / n;//Tamaño de los subintervalos
79      double A_aprox = 0.0;
80      double x_i;
81
82  #pragma omp parallel for num_threads(nthreads) reduction(+:A_aprox)\
83                                                 private(k,x_i) firstprivate(a,h)
84      for (k = 0; k <= n; k++){
85          x_i = a + k*h;
86          A_aprox += 1.0 / (1 + x_i*x_i);
87      }
88      A_aprox = h*A_aprox;
89      pi_aprox = 4*A_aprox;
90      t1 = clock();
91      time = (t1 - t0) / CLOCKS_PER_SEC;
92      printf("\nTiempo Paralelo V3: %lf seconds", time);
93      printf("\nEl valor de PI es: %.08lf\n", pi_aprox);
94      /*************************************************************/
```

GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Francisco J. Hernández-López

fcoj23@cimat.mx

WebPage:

www.cimat.mx/~fcoj23