Diagonalización Exacta: Modelo Bose - Hubbard

Novoa Gastaldi Alejandro Silvestre

(silvestre.novoa@ciencias.unam.mx)

03/2019

```
Clear["Global`*"]
```
borra

N = 4 Partículas.   M = 4 Sitios

```
Clear["Global`*"]
```
borra

```
(******************** ----- SISTEMA ----- ********************)

(* Se plantea un sistema de M sitios con N Particulas *)
```
valor numérico

```
NParticulas = 4;
MSitios = 4;
NTotalEstados = (NParticulas + MSitios - 1) ! / ((NParticulas) ! * (MSitios - 1) !);
(*Numero Total de Estados que constituyen la base del espacio de Hilbert *)
```
total

```
(*Parametros*)
```

```
U = 1.;
t0 = 0.004;

NPuntos = 200.;
t = Table[t0 * i, {i, 1, NPuntos}];
    tabla

(*Valores por determinar dentro de las iteraciones*)
EnergiaEdoBase  = Table[ {t[[lk]]   ,   0   }, {lk, 1, NPuntos}];
                  tabla
Dn2  = Table[ {t[[lk]]   ,   0   }, {lk, 1, NPuntos}];
       tabla
FraccionCondensado  = Table[ {t[[lk]]   ,   0   }, {lk, 1, NPuntos}];
                      tabla




(******************** ----- GENERACIÓN
  BASE CON ORDEN LEXICOGRAFICO ----- ********************)


(*Funciones para la generación de la base*)
Generadorkn[x_, y_] :=
  Module[{MSitios = x, in = y}, {i = MSitios - 1, While[B[[in, i]] == 0, i--], kn = i}];
  módulo                                        mientras
(* Funcion que genera el valor kn de un estado B[[ in ]]
 para contruir el estado B[[ in+1 ]] *)

GeneradorElemento[x_, y_, z_] :=
  Module[{MSitios = x, in = y, k = z}, {For[i = 1, i < k, i++, B[[in + 1, i]] = B[[in, i]]],
  módulo                                para cada
    For[i = k, i < k + 1, i++, B[[in + 1, i]] = B[[in, i]] - 1],  For[i = k + 1, i < k + 2,
    para cada                                                     para cada
     i++, B[[in + 1, i]] = NParticulas - Sum[B[[in + 1, j]], {j, 1, i, 1}]],
                                         suma
    For[i = k + 2, i < MSitios, i++, B[[in + 1, i]] = 0]}];    (* Funcion que
    para cada
 genera el estado B[[ in+1 ]] a partir de el valor kn y del estado B[[ in ]] *)

GeneradorBase[x_, y_] :=
  Module[{MSitios = x, NTotalEstados = y}, Do[{Generadorkn[MSitios, j],
  módulo                                   repite
     GeneradorElemento[MSitios, j, kn]}, {j, 1, NTotalEstados - 1, 1}]];
(* Se juntan las dos funciones anteriores iterandolas en un Do,
                                                            repite
partiendo de un estado inicial para
 contruir toda la base con orden Lexicografico *)
```

```
(***** Se Genera la Base *****)

B = Table[Table[0, {i, 1, MSitios}], {i, 1, NTotalEstados}];
     tabla    tabla
B[[1, 1]] = NParticulas;

GeneradorBase[MSitios, NTotalEstados];
MatrixForm[B];
forma de matriz
```

```
(*------------------------------------------------------------------------------
                                        ----------------------------------------
                                         --------------------------------*)
(*------------------------------------------------------------------------------
                                        ----------------------------------------
                                         --------------------------------*)
(*------------------------------------------------------------------------------
                                        ----------------------------------------
                                         --------------------------------*)
```

```
(******************** ----- GENERACIÓN DEL TAG-
 BASE CON ORDEN ASCENDENTE ----- ********************)


TagBase = Table[0, {i, 1, NTotalEstados}];
          tabla
Do[TagBase[[j]] = Sum[Sqrt[100 * i + 3] * B[[j, i]], {i, 1, MSitios, 1}],
repite               s···  raíz cuadrada
  {j, 1, NTotalEstados, 1}];   (* Se crea un tag para cada estado
 base a partir de numeros (etiquetas) irrepetibles contruidos por el
 numero de particulas en cada sitio para cada estado de la base *)
TagBaseOrdenada = Sort[TagBase, #1 < #2 &];  (* Se ordena de Forma Ascendente *)
                  ordena
```

```
(*------------------------------------------------------------------------------
                                        ----------------------------------------
```

```
                                                  --------------------------------*)
(*-------------------------------------------------------------------------------
                                                 -----------------------------------------
                                                  --------------------------------*)
(*-------------------------------------------------------------------------------
                                                 -----------------------------------------
                                                  --------------------------------*)




(*ITERACIÓN RESPECTO A t*)
Do[
repite

  (******************** ----- HAMILTONIANO
    CON ORDEN LEXICOGRAFICO ----- ********************)


  HBbase = Table[Table[0, {i, 1, NTotalEstados, 1}], {j, 1, NTotalEstados, 1}];
                 tabla   tabla


  (* Terminos No Diagonales *)

  Do[{
  repite
    (*Genero los Operadores como vectores
     que suman la unidad en un sitio y lo quitan en otro*)
    Operador  =  Join[  Table[  UnitVector[MSitios,  Mod[i, MSitios, 1] ]  -
                 junta  tabla   vector unidad        operación módulo
        UnitVector[MSitios,  Mod[i + 1, MSitios, 1] ], {i, 1, MSitios, 1}]  ,
        vector unidad        operación módulo
      Table[ - UnitVector[MSitios,  Mod[i, MSitios, 1] ] +
      tabla    vector unidad        operación módulo
        UnitVector[MSitios,  Mod[i + 1, MSitios, 1] ], {i, 1, MSitios, 1}]  ]    ;
        vector unidad        operación módulo

    (*Aplico cada Operador a un estado*)
    EdoOperado  =  Table[ B[[ ln ]]  + Operador[[i]] ,  {i, 1, 2 * MSitios, 1} ]    ;
                   tabla

    (*Calculo el Tag del estado resultante de cada operación *)
    TagEdoOperado  =  Table[ Sum[ Sqrt[ 100 * i + 3 ]  *  EdoOperado[[j, i]] ,
                      tabla  suma raíz cuadrada
       {i, 1, MSitios, 1}]  ,  {j, 1, 2 * MSitios, 1} ]    ;

    (*Calculo el coeficiente asociado a cada operación. El coeficiente
     esta es el respectivo a los operadores de creación y aniquilación*)
    CoefOperador  =  Join[  Table[  Sqrt[ B[[  ln  , Mod[i, MSitios, 1] ]]  + 1 ]  *
                     junta  tabla   raíz cuadrada       operación módulo
```

```
                  junta        tabla        raíz cuadrada          operación módulo
        Sqrt[ B[[ ln  , Mod[i + 1, MSitios, 1] ]] ], { i, 1, MSitios, 1}]   ,
        raíz cuadrada         operación módulo
      Table[    Sqrt[ B[[ ln  , Mod[i, MSitios, 1] ]] ] *
      tabla     raíz cuadrada        operación módulo
        Sqrt[ B[[  ln  , Mod[i + 1, MSitios, 1] ]]  +  1 ] , { i, 1, MSitios, 1}]   ]     ;
        raíz cuadrada          operación módulo

   (* Identifico la posición del
    estado resultante de la operación en la Base. Teniendo esto,
   puedo asignarle el coeficiente a la entrada que corresponde del hamiltoniano *)
   Do[  HBbase[[ ln ,  Flatten[Position[TagBase, TagEdoOperado[[i]] ]]  ]]    =
   repite                aplana     posición
      HBbase[[ ln ,  Flatten[Position[TagBase, TagEdoOperado[[i]] ]]  ]]   +
                     aplana     posición
       CoefOperador[[i]]  , {i, 1, 2 * MSitios, 1} ]    },

  (*Se itera para todos los estados*)
                    {ln, 1, NTotalEstados, 1}];


HBbase  = -t[[   itn   ]] * (HBbase + ConjugateTranspose[HBbase]);
                                        transpuesto conjugado


(* Terminos de la Diagonal *)
                  diagonal

HBbaseDiagonal =
 Table[  Sum[ B[[j, i]]^2 , {i, 1, MSitios, 1} ] , {j, 1, NTotalEstados}];
 tabla     suma
(*Respectivo al operador de numero al cuadrado*)

Do[HBbase[[i, i]] = U * HBbaseDiagonal[[i]] / 2, {i, 1, NTotalEstados}];
repite



HBbase // MatrixForm;
          forma de matriz



(*------------------------------------------------------------------------
                                         ----------------------------------------
                                          ----------------------------------*)
(*------------------------------------------------------------------------
```

```
                                                  -----------------------------------------
                                                   ------------------------------------*)
(*----------------------------------------------------------------------------
                                                  -----------------------------------------
                                                   ------------------------------------*)




(******************** ----- HAMILTONIANO
  CON ORDEN TAG ASCENDENTE ----- ********************)


HTAGbase = Table[Table[0, {i, 1, NTotalEstados, 1}], {j, 1, NTotalEstados, 1}];
           tabla  tabla


(*Genero Base REORDENADA respecto al ordenamiento del Tag*)
BOrdenTag = Table[ { TagBase[[j]] ,  B[[j]] } , {j, 1, NTotalEstados}];
            tabla
BOrdenTag  = Sort[ BOrdenTag , #1[[1]] < #2[[1]] &] ;
             ordena
(*Reordena respecto a la primer entrada de los vectores. De menor a mayor*)
BOrdenTag  = BOrdenTag[[1 ;; NTotalEstados, 2]];



(* Terminos No Diagonales *)

Do[{
repite
  (*Genero los Operadores como vectores
   que suman la unidad en un sitio y lo quitan en otro*)
  Operador  =  Join[  Table[  UnitVector[MSitios,  Mod[i, MSitios, 1] ]  -
               junta  tabla   vector unidad          operación módulo
      UnitVector[MSitios,  Mod[i + 1, MSitios, 1] ]   , {i, 1, MSitios, 1}]  ,
      vector unidad        operación módulo
    Table[ - UnitVector[MSitios,  Mod[i, MSitios, 1] ]  +
    tabla    vector unidad        operación módulo
      UnitVector[MSitios,  Mod[i + 1, MSitios, 1] ]   , {i, 1, MSitios, 1}]  ]     ;
      vector unidad        operación módulo

  (*Aplico cada Operador a un estado*)
  EdoOperado  =
   Table[ BOrdenTag[[ ln ]]  +  Operador[[i]] ,  {i, 1, 2 * MSitios, 1} ]     ;
   tabla
```

```
(*Calculo el Tag del estado resultante de cada operación *)
TagEdoOperado = Table[ Sum[ Sqrt[ 100 * i + 3 ] * EdoOperado[[j, i]] ,
                tabla   suma raíz cuadrada
   {i, 1, MSitios, 1}] , {j, 1, 2 * MSitios, 1} ]    ;

(*Calculo el coeficiente asociado a cada operación. El coeficiente
 esta es el respectivo a los operadores de creación y aniquilación*)
CoefOperador = Join[ Table[ Sqrt[ BOrdenTag[[ ln , Mod[i, MSitios, 1] ]] + 1 ] *
               junta  tabla  raíz cuadrada           operación módulo
     Sqrt[ BOrdenTag[[ ln , Mod[i + 1, MSitios, 1] ]] ], { i, 1, MSitios, 1}]  ,
     raíz cuadrada             operación módulo
   Table[   Sqrt[ BOrdenTag[[ ln , Mod[i, MSitios, 1] ]] ] * Sqrt[
   tabla    raíz cuadrada          operación módulo          raíz cuadrada
      BOrdenTag[[ ln , Mod[i + 1, MSitios, 1] ]] + 1 ] , { i, 1, MSitios, 1}]  ]    ;
                       operación módulo

(* Identifico la posición del
 estado resultante de la operación en la Base. Teniendo esto,
puedo asignarle el coeficiente a la entrada que corresponde del hamiltoniano *)
Do[ HTAGbase[[ ln ,  Flatten[Position[TagBaseOrdenada,
repite                aplana  posición
      TagEdoOperado[[i]] ]]  ]]    =
   HBbase[[ ln ,  Flatten[Position[TagBaseOrdenada, TagEdoOperado[[i]] ]]  ]]   +
                  aplana  posición
     CoefOperador[[i]]  , {i, 1, 2 * MSitios, 1} ]    },

 (*Se itera para todos los estados*)
                    {ln, 1, NTotalEstados, 1}];


HTAGbase  = -t[[   NPuntos  ]] * (HTAGbase + ConjugateTranspose[HTAGbase]);
                                                  transpuesto conjugado

(* Terminos de la Diagonal *)
                diagonal

Do[HTAGbase[[i, i]] = U *  Sum[ BOrdenTag[[i, j]]^2 ,  {j, 1, MSitios, 1} ] /2 ,
repite                     suma
 {i, 1, NTotalEstados}];    (*Respectivo al operador de numero al cuadrado*)



HTAGbase // MatrixForm;
            forma de matriz
```

```
(*---------------------------------------------------------------------------
                                              -----------------------------------------
                                               ------------------------------------*)
(*---------------------------------------------------------------------------
                                              -----------------------------------------
                                               ------------------------------------*)
(*---------------------------------------------------------------------------
                                              -----------------------------------------
                                               ------------------------------------*)

(******************** ----- OBSERVABLES ----- ********************)

(******* ESTADO BASE *******)

EnergiaEdoBase[[  itn  , 2]] =
 Eigensystem[-HBbase, 1, Method → {"Arnoldi", "Criteria" → "RealPart"}][[1]] -
 autovalores y autovectores          método
  0 * U * NParticulas / 2 ;   (* Se resta el termino constante del Hamiltoniano *)

EdoBase = Flatten[
          aplana
  Eigensystem[ -HBbase, 1, Method → {"Arnoldi", "Criteria" → "RealPart"} ][[2]]  ];
  autoval···                     método

(******* FLUCTUACIONES *******)

(*La varianza del operador de numero por sitio respecto al estado Base*)

Dn2 [[  itn  , 2 ]] =
 Table[   Sum[  B[[i, j]]^2 * EdoBase[[i]] * Conjugate[ EdoBase[[i]] ]  ,
          suma                              conjugado
```

```
{i, 1, NTotalEstados, 1} ] - Sum[ B[[i, j]] * EdoBase[[i]] *
   Conjugate[ EdoBase[[i]] ] , {i, 1, NTotalEstados, 1} ]^2 , {j, 1, MSitios, 1} ];



(******* MATRIZ DE DENSIDAD REDUCIDA *******)

Mρ = Table[Table[0, {i, 1, MSitios, 1}], {j, 1, MSitios, 1}];

(* Terminos No Diagonales *)

(* Operadores y los indices de su entrada correspondiente: Se definen los
   operadores como vectores para ser sumados al estado sobre el cual actuan.
    Cada operador va a estar asociado a una entrada especifica de la matriz,
se considera las entradas de los elementos superiores a la diagonal.*)
Operador = Flatten[ Table[ Table[ UnitVector[MSitios, Mod[j, MSitios, 1] ] -
     UnitVector[MSitios, Mod[i + j, MSitios, 1] ] ,
    {i, 1, MSitios - j, 1} ] , {j, 1, MSitios - 1, 1} ] , 1 ] ;
IndiceFila = Flatten[ Table[ Table[ j , {i, j, MSitios - 1, 1}] ,
   {j, 1, MSitios - 1, 1}] ];
IndiceColumna = Flatten[ Table[ Table[ i , {i, j, MSitios, 1}] , {j, 2, MSitios, 1}] ];



Do[ {

  CoefOperadorMρ = Table[0, {i, 1, NTotalEstados, 1}];

  Do[ {

    (*Se aplica el operador*)
    EdoOperado = B[[ ln ]] + Operador [[jn]] ;

    (* Calculo el Tag del estado resultante de cada operación *)
    TagEdoOperado =
```

```
Sum[ Sqrt[ 100 * i + 3 ]  *  EdoOperado[[i]] ,  {i, 1, MSitios, 1}]  ;
     raíz cuadrada

(* Calculo el coeficiente asociado a cada operación. El coeficiente
 esta es el respectivo a los operadores de creación y aniquilación,
PERO ESTA MULTIPLICADO POR EL COEFICIENTE DEL ESTADO PREVIO A SER OPERADO,
POR EL COEFICIENTE ASOCIADO AL ESTADO RESULTANTE DE LA OPERACIÓN,
i.e., C_{i} * C_{k} donde k es determinado comparando el TAG del EDO
 OPERADO con la base ordenada, en este caso, la TagBaseORdenada *)
CoefOperadorMρ[[ln]]  =   EdoBase[[  Flatten[ Position[ TagBase,
                                     aplana     posición
     TagEdoOperado ] ]  ]] * Conjugate[ EdoBase[[ ln ]] ] *
                             conjugado
  Sqrt[  B[[ ln , 2 ]]  +  1 ]  *  Sqrt[ B[[ ln , 1 ]]  ]    }
  raíz cuadrada                    raíz cuadrada

 ,  {ln, 1, NTotalEstados, 1} ]      ;


CoefOperadorMρ = Flatten [CoefOperadorMρ ]      ;  (*Posiciones no encontradas
                 aplana
 asigna elementos vacios {} que impiden sumar y multiplicar adecuadamente*)

(* Se asigna el elemento de la matriz como
 la suma de todos los coeficientes de cada estado operado *)
Mρ[[ IndiceFila[[jn]] , IndiceColumna[[jn]] ]] =
 Sum[ CoefOperadorMρ [[i]] , {i, 1, Length[CoefOperadorMρ ], 1} ]             }
                                 longitud

(* Se itera para todos los operadores,
i.e., todos los elementos superiores a la diagonal *)
              , {jn, 1, MSitios (MSitios - 1) / 2, 1}] ;


Mρ = Mρ + ConjugateTranspose[Mρ];
          transpuesto conjugado


(* Terminos de la Diagonal *)
                 diagonal

Do[ Mρ[[j, j]] =  Sum[  B[[i, j]]  *  EdoBase[[i]] *  Conjugate[ EdoBase[[i]] ]  ,
repite            suma                                conjugado
   {i, 1, NTotalEstados, 1}  ]  ,   {j, 1, MSitios, 1}  ];
(*Respectivo al operador de numero al cuadrado*)
```

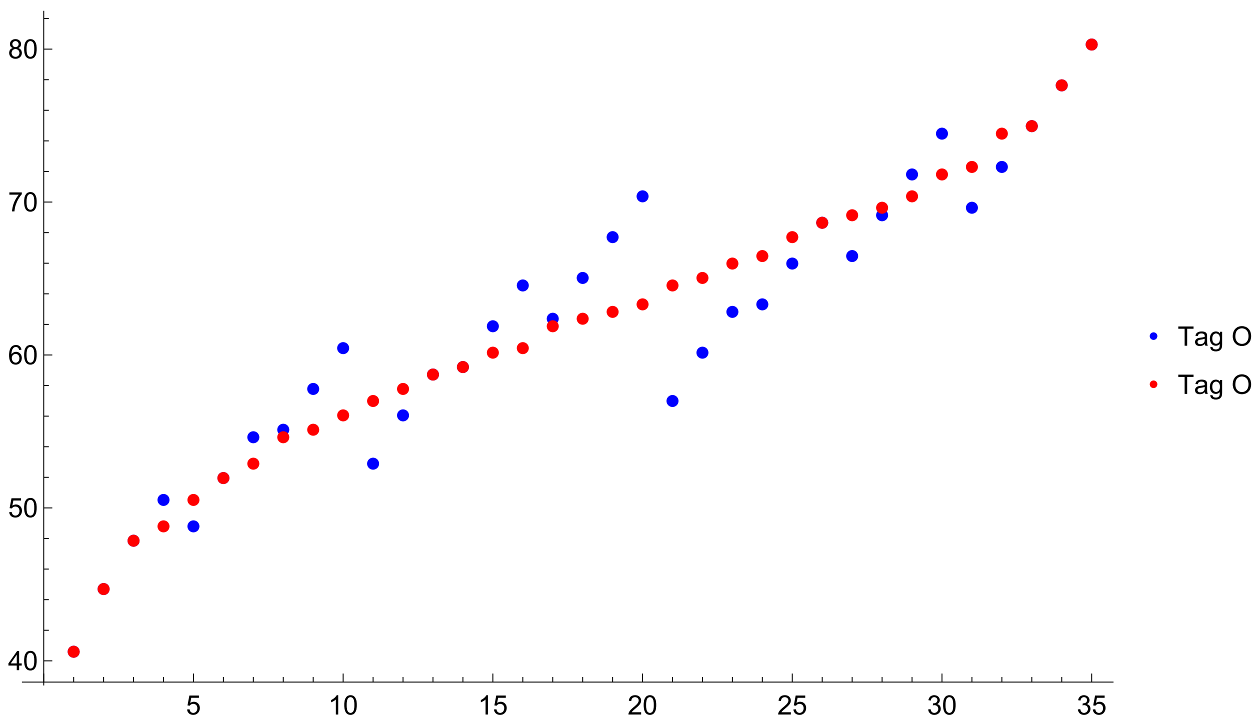
```
Mρ // MatrixForm;
      forma de matriz




(******* FRACCIÓN DE CONDENSADO *******)

FraccionCondensado[[ itn , 2]] =
 Max[ Eigensystem[ Mρ , MSitios][[1]] ] / NParticulas ;
      autovalores y autovectores
(* Puede ser Max[  Eigensystem[Mρ,MSitios,
             máximo autovalores y autovectores
    Method→{"Arnoldi","Criteria"→"RealPart"}][[1]]  ] *)
    método




, {itn, 1, NPuntos, 1}]; (*ITERACIÓN RESPECTO A t*)

(*---------------------------------------------------------------------------
                                         -----------------------------------------
                                          ---------------------------------*)
(*---------------------------------------------------------------------------
                                         -----------------------------------------
                                          ---------------------------------*)
(*---------------------------------------------------------------------------
                                         -----------------------------------------
                                          ---------------------------------*)




(******************** ----- OUTPUTS DEL CODIGO ----- ********************)


(* Para evitar las iteraciones respecto a t *)
(* No todos los datos se guardan para cada caso de t,
como los hamiltnoanianos, Matriz de Densidad Reducida,
```

```
por lo que vemos sólo los correspondientes a la ultima iteración. *)


(******* BASE *******)
MatrixForm[B];
forma de matriz
TagBaseOrdenada;

Print[
escribe
 Style["Comparación de los Valores de Tags en la Base con orden Lexicografico respecto
 estilo
    al orden de Tag Ascendente", 18, Bold, Purple]]
                                     negrita púrpura
ListPlot[{TagBase, TagBaseOrdenada}, ImageSize → Large, LabelStyle → {14, Black},
representación de lista              tamaño de i···  grande  estilo de etiqueta    negro
 PlotStyle → {{Thick, Blue}, {Thick, Red}},
 estilo de represe··· grueso  azul   grueso  rojo
 PlotLegends → {"Tag Orden Lexicografico", "Tag Orden Ascendente"}]
 leyendas de representación



(******* HAMILTONIANO CON ORDEN LEXICOGRAFICO *******)
Print[ Style["Hamiltoniano con Orden Lexicografico", 18, Bold, Purple]]
escribe estilo                                         negrita púrpura
HBbase // MatrixForm;
          forma de matriz
MatrixPlot[HBbase , PlotTheme → "Detailed", ImageSize → Large, ColorFunction → Hue]
representación de matriz tema de representación  tamaño de i···  grande  función de color  tonalidad



(******* HAMILTONIANO CON ORDEN TAG ASCENDENTE *******)
Print[ Style["Hamiltoniano con Orden de Tag Ascendente", 18, Bold, Purple]]
escribe estilo                                             negrita púrpura
HTAGbase // MatrixForm;
            forma de matriz
MatrixPlot[HTAGbase , PlotTheme → "Detailed", ImageSize → Large, ColorFunction → Hue]
representación de matriz  tema de representación  tamaño de i···  grande  función de color  tonalidad



(******* ENERGÍA ESTADO BASE *******)
EnergiaEdoBase = Flatten[ EnergiaEdoBase ];
                 aplana
EnergiaEdoBase =
  Table[ {EnergiaEdoBase[[i]] , EnergiaEdoBase[[i + 1]]} , {i, 1, 2 * NPuntos, 2}];
  tabla
```

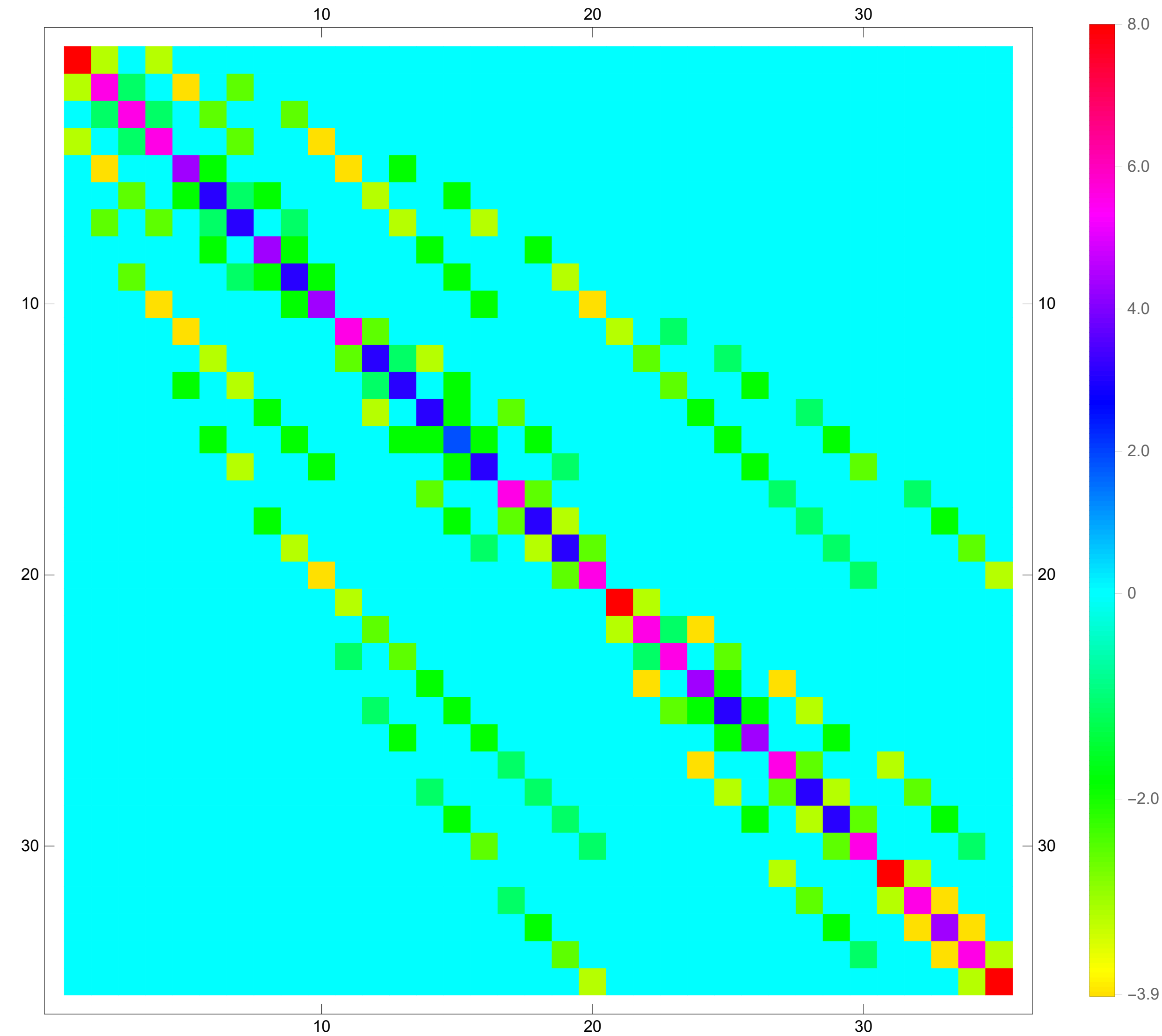
```
Print[ Style["Energía del Estado Base", 18, Bold, Purple]]
escribe estilo                                negrita púrpura
EnergiaEdoBase  // MatrixForm
                   forma de matriz



(******* FLUCTUACIONES *******)
Print[ Style["Fluctuaciones  Δ(n_i)^2", 18, Bold, Purple]]
escribe estilo                               negrita púrpura
Dn2;

ListPlot[  Table[  Table[  { Dn2[[lk, 1]] ,  Dn2[[lk, 2, jk]] }  , {lk, 1, NPuntos, 1}]  ,
representaci··· tabla  tabla
  {jk, 1, MSitios, 1}]   , ImageSize → Large, AxesStyle → {Black, Black},
                           tamaño de i···  grande  estilo de ejes  negro  negro
 PlotStyle → {{PointSize[0.022], Blue}, {PointSize[0.018], Red}, {PointSize[0.014], Green},
 estilo de represe··· tamaño de punto  azul  tamaño de punto  rojo  tamaño de punto  verde
   {PointSize[0.011], Orange}, {PointSize[0.008], Purple}, {PointSize[0.006], Yellow}},
   tamaño de punto  naranja  tamaño de punto  púrpura  tamaño de punto  amarillo
 PlotLegends → {"Δ(n_1)^2", "Δ(n_2)^2", "Δ(n_3)^2", "Δ(n_4)^2", "Δ(n_5)^2", "Δ(n_6)^2"} ,
 leyendas de representación
 ImageSize → Large, LabelStyle → {14, Black}, AxesLabel → {"J/U" , "Δ(n_i)^2"}]
 tamaño de i···  grande  estilo de etiqueta  negro  etiqueta de ejes



(******* MATRIZ DE DENSIDAD REDUCIDA *******)
Print[
escribe
  Style["Matriz de Densidad Reducida  ρ. Su traza es igual al numero de partículas",
  estilo
   18, Bold, Purple]];
       negrita púrpura
Tr[Mρ]
traza
Mρ // MatrixForm
      forma de matriz
MatrixPlot[Mρ , PlotTheme → "Detailed", ImageSize → Large, ColorFunction → Hue];
representación de m··· tema de representación  tamaño de i···  grande  función de color  tonalidad



(******* FRACCIÓN DE CONDENSADO *******)
FraccionCondensado = Flatten[ FraccionCondensado ];
                     aplana
FraccionCondensado = Table[
                     tabla
   {FraccionCondensado[[i]] ,  FraccionCondensado[[i + 1]]} , {i, 1, 2 * NPuntos, 2}];
```

```
Print[Style["Fracción de Condensado  fc", 18, Bold, Purple]]
escribe estilo                              negrita púrpura
FraccionCondensado;

ListPlot[FraccionCondensado, ImageSize → Large, AxesStyle → {Black, Black},
representación de lista      tamaño de i⋯  grande  estilo de ejes  negro  negro
 PlotStyle → {Thickness[10], Purple}, PlotLegends → {"fc"} ,
 estilo de repre⋯ grosor          púrpura    leyendas de representación
 ImageSize → Large, LabelStyle → {14, Black}, AxesLabel → {"J/U" , "fc"}]
 tamaño de i⋯  grande  estilo de etiqueta    negro     etiqueta de ejes
```

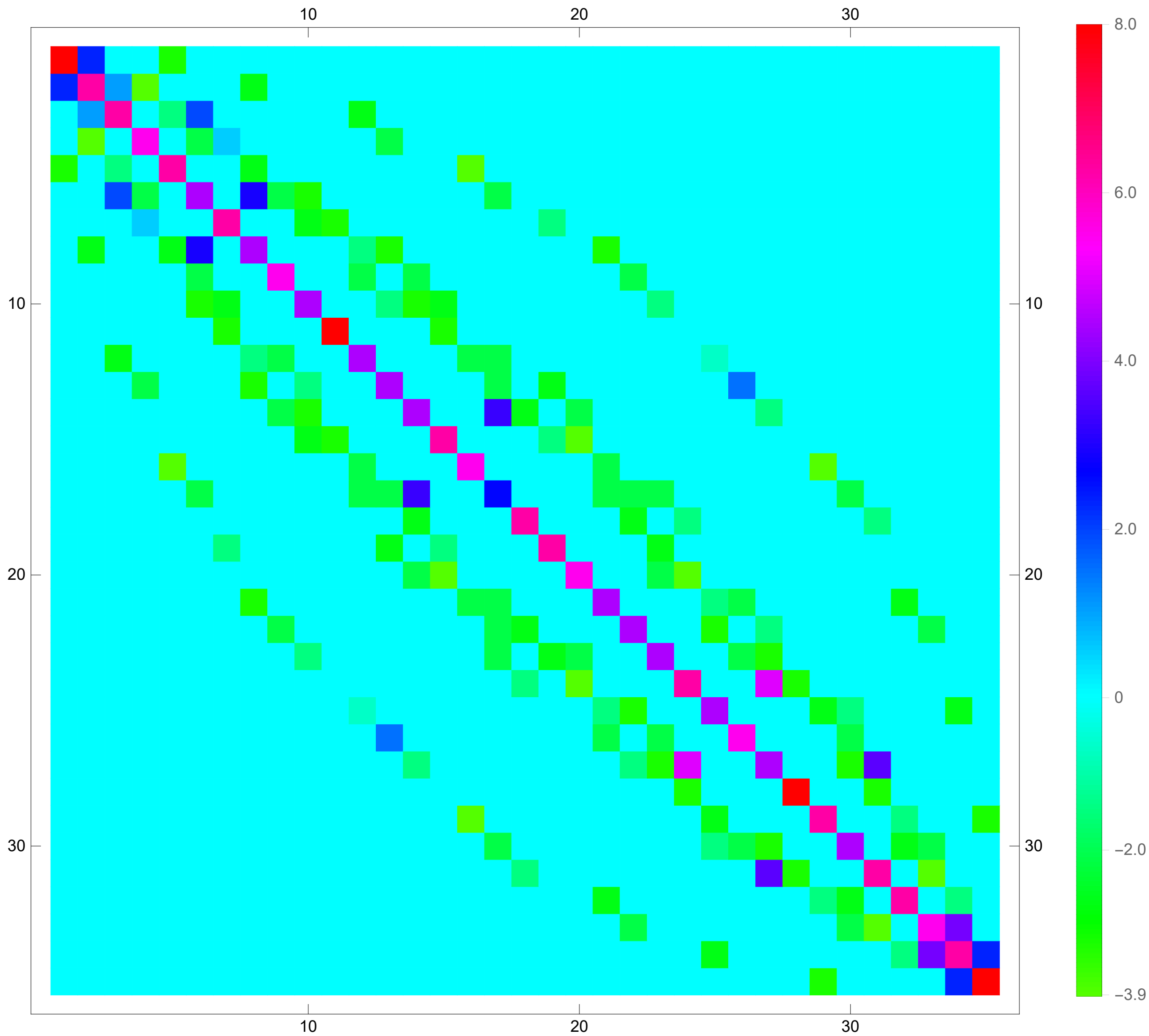
Comparación de los Valores de Tags en la Base con orden Lexicografico respecto al orden de Tag Ascendente



Hamiltoniano con Orden Lexicografico



Hamiltoniano con Orden de Tag Ascendente



Energía del Estado Base

0.004	-1.99898
0.008	-1.99589
0.012	-1.99073
0.016	-1.98345
0.02	-1.97401
0.024	-1.96235
0.028	-1.94842
0.032	-1.93215
0.036	-1.91351
0.04	-1.89246
0.044	-1.86898
0.048	-1.8431
0.052	-1.81484
0.056	-1.78426
0.06	-1.75146
0.064	-1.71653
0.068	-1.67959
0.072	-1.64076

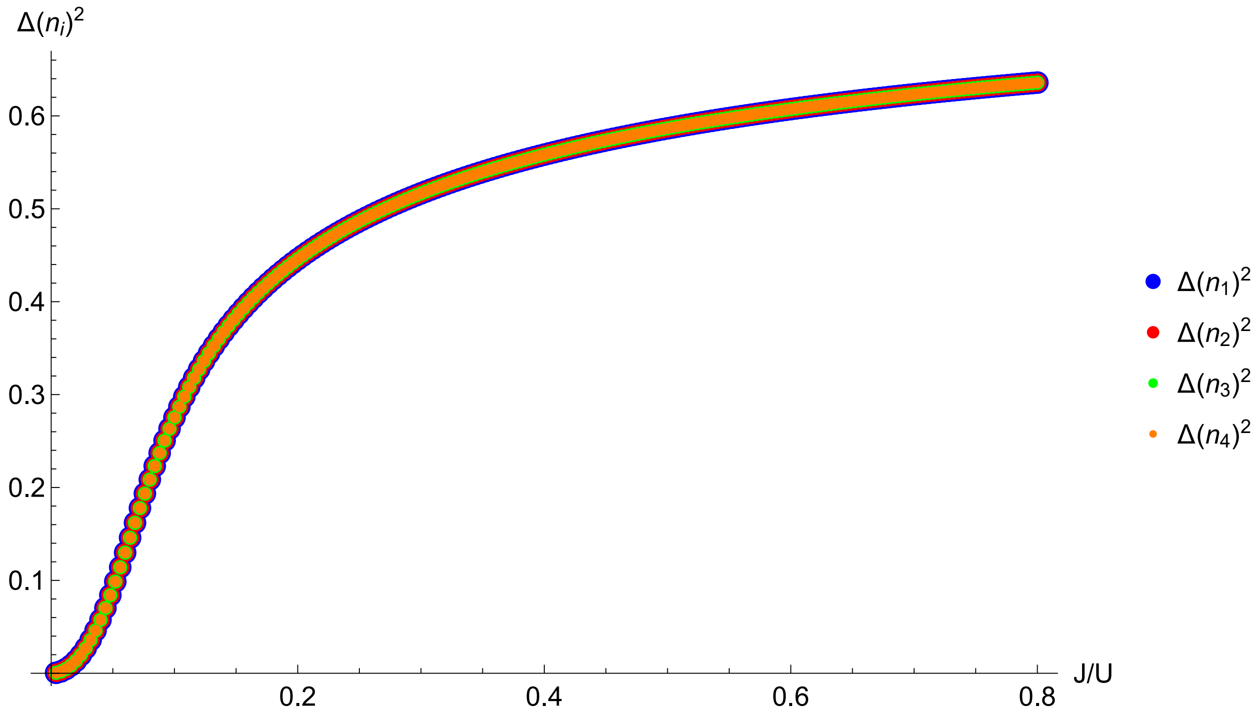
0.076	−1.60019
0.08	−1.55801
0.084	−1.51433
0.088	−1.4693
0.092	−1.42302
0.096	−1.3756
0.1	−1.32715
0.104	−1.27775
0.108	−1.22749
0.112	−1.17644
0.116	−1.12467
0.12	−1.07225
0.124	−1.01922
0.128	−0.965632
0.132	−0.911535
0.136	−0.856966
0.14	−0.801962
0.144	−0.746554
0.148	−0.690771
0.152	−0.63464
0.156	−0.578185
0.16	−0.521428
0.164	−0.464387
0.168	−0.407082
0.172	−0.349528
0.176	−0.291741
0.18	−0.233734
0.184	−0.175521
0.188	−0.117112
0.192	−0.0585186
0.196	0.00024932
0.2	0.0591827
0.204	0.118273
0.208	0.177512
0.212	0.236893
0.216	0.296409
0.22	0.356053
0.224	0.415819
0.228	0.475702
0.232	0.535697
0.236	0.595799
0.24	0.656003
0.244	0.716305
0.248	0.776701
0.252	0.837186
0.256	0.897758
0.26	0.958413
0.264	1.01915
0.268	1.07996
0.272	1.14085
0.276	1.2018
0.28	1.26283
0.284	1.32392
0.288	1.38507
0.292	1.44629
0.296	1.50756
0.3	1.5689
0.304	1.63029
0.308	1.69173
0.312	1.75322

0.316	1.81477
0.32	1.87636
0.324	1.938
0.328	1.99969
0.332	2.06142
0.336	2.12319
0.34	2.18501
0.344	2.24686
0.348	2.30876
0.352	2.37069
0.356	2.43266
0.36	2.49467
0.364	2.55671
0.368	2.61878
0.372	2.68089
0.376	2.74303
0.38	2.8052
0.384	2.86741
0.388	2.92964
0.392	2.9919
0.396	3.05419
0.4	3.11651
0.404	3.17885
0.408	3.24122
0.412	3.30362
0.416	3.36604
0.42	3.42849
0.424	3.49096
0.428	3.55345
0.432	3.61596
0.436	3.6785
0.44	3.74106
0.444	3.80364
0.448	3.86624
0.452	3.92886
0.456	3.9915
0.46	4.05416
0.464	4.11684
0.468	4.17954
0.472	4.24225
0.476	4.30498
0.48	4.36773
0.484	4.4305
0.488	4.49329
0.492	4.55609
0.496	4.6189
0.5	4.68173
0.504	4.74458
0.508	4.80744
0.512	4.87032
0.516	4.93321
0.52	4.99611
0.524	5.05903
0.528	5.12197
0.532	5.18491
0.536	5.24787
0.54	5.31084
0.544	5.37383
0.548	5.43682
0.552	5.49983
0.556	5.56285

0.56	5.62588
0.564	5.68893
0.568	5.75198
0.572	5.81505
0.576	5.87812
0.58	5.94121
0.584	6.00431
0.588	6.06742
0.592	6.13054
0.596	6.19366
0.6	6.2568
0.604	6.31995
0.608	6.3831
0.612	6.44627
0.616	6.50945
0.62	6.57263
0.624	6.63582
0.628	6.69902
0.632	6.76223
0.636	6.82545
0.64	6.88868
0.644	6.95192
0.648	7.01516
0.652	7.07841
0.656	7.14167
0.66	7.20493
0.664	7.26821
0.668	7.33149
0.672	7.39478
0.676	7.45807
0.68	7.52137
0.684	7.58468
0.688	7.648
0.692	7.71132
0.696	7.77465
0.7	7.83799
0.704	7.90133
0.708	7.96468
0.712	8.02803
0.716	8.0914
0.72	8.15476
0.724	8.21814
0.728	8.28152
0.732	8.3449
0.736	8.40829
0.74	8.47169
0.744	8.53509
0.748	8.5985
0.752	8.66191
0.756	8.72533
0.76	8.78875
0.764	8.85218
0.768	8.91561
0.772	8.97905
0.776	9.0425
0.78	9.10595
0.784	9.1694
0.788	9.23286
0.792	9.29632
0.796	9.35979

$\begin{pmatrix} 0.8 & 9.42326 \end{pmatrix}$

Fluctuaciones $\Delta(n_i)^2$



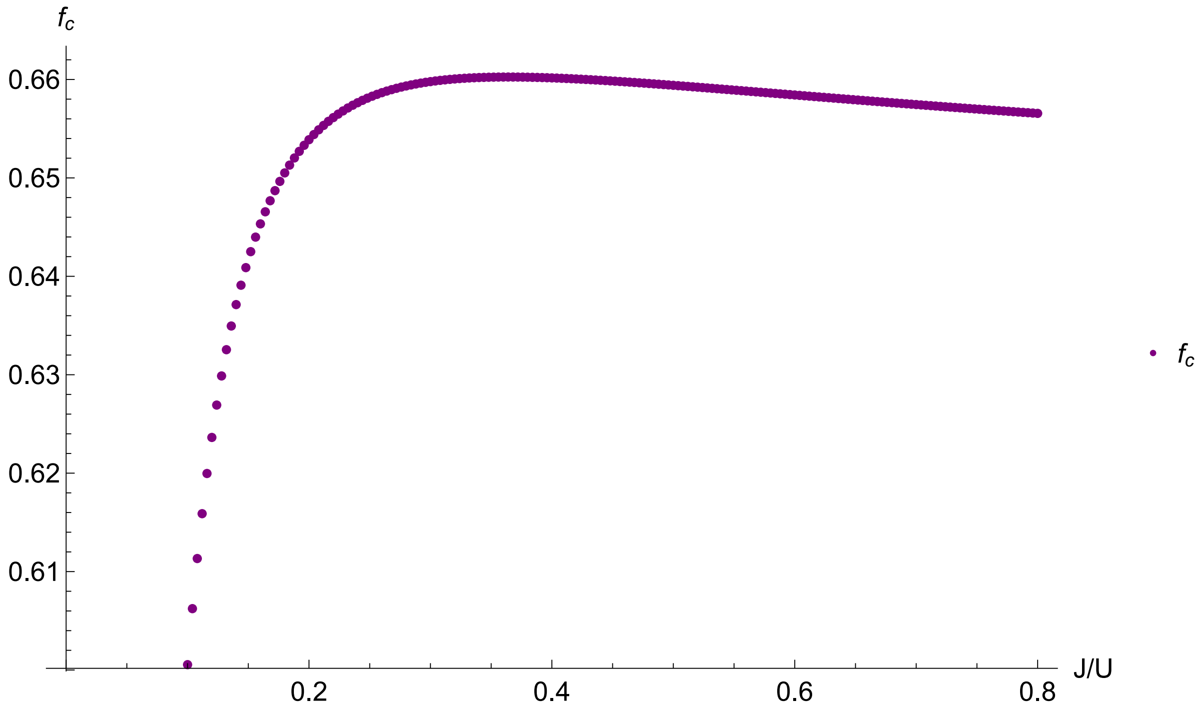
Matriz de Densidad Reducida ρ.

Su traza es igual al numero de partículas

4.

$$\begin{pmatrix} 1. & 0.549667 & 0.447356 & 0.446955 \\ 0.549667 & 1. & 0.588224 & 0.575713 \\ 0.447356 & 0.588224 & 1. & 0.634064 \\ 0.446955 & 0.575713 & 0.634064 & 1. \end{pmatrix}$$

Fracción de Condensado f_c


f_c
0.66
0.65
0.64
0.63
0.62
0.61
0.2
0.4
0.6
0.8
J/U
f_c

N = 6 Partículas.   M = 6 Sitios

```
Clear["Global`*"]
borra

(******************** ----- SISTEMA ----- ********************)


(* Se plantea un sistema de M sitios con N Particulas *)
                                         valor numérico

NParticulas = 6;
MSitios = 6;
NTotalEstados = (NParticulas + MSitios - 1) ! / ((NParticulas) ! * (MSitios - 1) !);
(*Numero Total de Estados que constituyen la base del espacio de Hilbert *)
         total


(*Parametros*)
U = 1.;
t0 = 0.02;

NPuntos = 40.;
t = Table[t0 * i, {i, 1, NPuntos}];
   tabla

(*Valores por determinar dentro de las iteraciones*)
```

```
EnergiaEdoBase = Table[ {t[[lk]]  ,   0   }, {lk, 1, NPuntos}];
                 tabla
Dn2 = Table[ {t[[lk]]  ,   0   }, {lk, 1, NPuntos}];
      tabla
FraccionCondensado = Table[ {t[[lk]]  ,   0   }, {lk, 1, NPuntos}];
                     tabla



(******************** ----- GENERACIÓN
  BASE CON ORDEN LEXICOGRAFICO ----- ********************)


(*Funciones para la generación de la base*)
Generadorkn[x_, y_] :=
  Module[{MSitios = x, in = y}, {i = MSitios - 1, While[B[[in, i]] == 0, i--], kn = i}];
  módulo                                        mientras
(* Funcion que genera el valor kn de un estado B[[ in ]]
 para contruir el estado B[[ in+1 ]] *)

GeneradorElemento[x_, y_, z_] :=
  Module[{MSitios = x, in = y, k = z}, {For[i = 1, i < k, i++, B[[in + 1, i]] = B[[in, i]]],
  módulo                               para cada
    For[i = k, i < k + 1, i++, B[[in + 1, i]] = B[[in, i]] - 1], For[i = k + 1, i < k + 2,
    para cada                                                    para cada
     i++, B[[in + 1, i]] = NParticulas - Sum[B[[in + 1, j]], {j, 1, i, 1}]],
                                         suma
    For[i = k + 2, i < MSitios, i++, B[[in + 1, i]] = 0]}];   (* Funcion que
    para cada
 genera el estado B[[ in+1 ]] a partir de el valor kn y del estado B[[ in ]] *)

GeneradorBase[x_, y_] :=
  Module[{MSitios = x, NTotalEstados = y}, Do[{Generadorkn[MSitios, j],
  módulo                                   repite
     GeneradorElemento[MSitios, j, kn]}, {j, 1, NTotalEstados - 1, 1}]];
(* Se juntan las dos funciones anteriores iterandolas en un Do,
                                                            repite
partiendo de un estado inicial para
 contruir toda la base con orden Lexicografico *)



(***** Se Genera la Base *****)

B = Table[Table[0, {i, 1, MSitios}], {i, 1, NTotalEstados}];
    tabla tabla
B[[1, 1]] = NParticulas;

GeneradorBase[MSitios, NTotalEstados];
```

```
MatrixForm[B];
forma de matriz

(*------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------*)
(*------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------*)
(*------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------*)

(********************* ----- GENERACIÓN DEL TAG-BASE CON ORDEN ASCENDENTE ----- *********************)

TagBase = Table[0, {i, 1, NTotalEstados}];
          tabla
Do[TagBase[[j]] = Sum[Sqrt[100 * i + 3] * B[[j, i]], {i, 1, MSitios, 1}],
repite            s···  raíz cuadrada
  {j, 1, NTotalEstados, 1}];   (* Se crea un tag para cada estado
 base a partir de numeros (etiquetas) irrepetibles contruidos por el
 numero de particulas en cada sitio para cada estado de la base *)
TagBaseOrdenada = Sort[TagBase, #1 < #2 &];  (* Se ordena de Forma Ascendente *)
                  ordena

(*------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------*)
(*------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------*)
(*------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------*)
```

```
(*ITERACIÓN RESPECTO A t*)
Do[
repite

  (******************** ----- HAMILTONIANO
    CON ORDEN LEXICOGRAFICO ----- ********************)

  HBbase = Table[Table[0, {i, 1, NTotalEstados, 1}], {j, 1, NTotalEstados, 1}];
           tabla  tabla

  (* Terminos No Diagonales *)

  Do[{
  repite
    (*Genero los Operadores como vectores
     que suman la unidad en un sitio y lo quitan en otro*)
    Operador = Join[ Table[ UnitVector[MSitios, Mod[i, MSitios, 1] ] -
               junta tabla  vector unidad         operación módulo
        UnitVector[MSitios, Mod[i + 1, MSitios, 1] ], {i, 1, MSitios, 1}] ,
        vector unidad       operación módulo
      Table[ - UnitVector[MSitios, Mod[i, MSitios, 1] ] +
      tabla    vector unidad       operación módulo
        UnitVector[MSitios, Mod[i + 1, MSitios, 1] ], {i, 1, MSitios, 1}] ] ;
        vector unidad       operación módulo

    (*Aplico cada Operador a un estado*)
    EdoOperado = Table[ B[[ ln ]] + Operador[[i]] , {i, 1, 2 * MSitios, 1} ] ;
                 tabla

    (*Calculo el Tag del estado resultante de cada operación *)
    TagEdoOperado = Table[ Sum[ Sqrt[ 100 * i + 3 ] * EdoOperado[[j, i]] ,
                    tabla  suma raíz cuadrada
      {i, 1, MSitios, 1}] , {j, 1, 2 * MSitios, 1} ] ;

    (*Calculo el coeficiente asociado a cada operación. El coeficiente
     esta es el respectivo a los operadores de creación y aniquilación*)
    CoefOperador = Join[ Table[ Sqrt[ B[[ ln , Mod[i, MSitios, 1] ]] + 1 ] *
                   junta tabla  raíz cuadrada  operación módulo
        Sqrt[ B[[ ln , Mod[i + 1, MSitios, 1] ]] ], { i, 1, MSitios, 1}] ,
        raíz cuadrada  operación módulo
      Table[  Sqrt[ B[[ ln , Mod[i, MSitios, 1] ]] ] *
      tabla   raíz cuadrada  operación módulo
        Sqrt[ B[[ ln , Mod[i + 1, MSitios, 1] ]] + 1 ] , { i, 1, MSitios, 1}] ] ;
        raíz cuadrada  operación módulo
```

```
 (* Identifico la posición del
  estado resultante de la operación en la Base. Teniendo esto,
 puedo asignarle el coeficiente a la entrada que corresponde del hamiltoniano *)
 Do[ HBbase[[ ln ,  Flatten[Position[TagBase, TagEdoOperado[[i]] ]]  ]]   =
 repite                aplana   posición
   HBbase[[ ln ,  Flatten[Position[TagBase, TagEdoOperado[[i]] ]]  ]]  +
                  aplana   posición
    CoefOperador[[i]]  , {i, 1, 2 * MSitios, 1} ]    },

 (*Se itera para todos los estados*)
                    {ln, 1, NTotalEstados, 1}];


HBbase  = -t[[  itn  ]] * (HBbase + ConjugateTranspose[HBbase]);
                                    transpuesto conjugado


(* Terminos de la Diagonal *)
                 diagonal

HBbaseDiagonal =
 Table[  Sum[ B[[j, i]]^2 , {i, 1, MSitios, 1} ] , {j, 1, NTotalEstados}];
 tabla   suma
(*Respectivo al operador de numero al cuadrado*)

Do[HBbase[[i, i]] = U * HBbaseDiagonal[[i]] / 2, {i, 1, NTotalEstados}];
repite



HBbase // MatrixForm;
          forma de matriz



(*---------------------------------------------------------------------------
                                            -----------------------------------------
                                             ------------------------------------*)
(*---------------------------------------------------------------------------
                                            -----------------------------------------
                                             ------------------------------------*)
(*---------------------------------------------------------------------------
                                            -----------------------------------------
                                             ------------------------------------*)
```

```
(******************** ----- HAMILTONIANO
  CON ORDEN TAG ASCENDENTE ----- ********************)


HTAGbase = Table[Table[0, {i, 1, NTotalEstados, 1}], {j, 1, NTotalEstados, 1}];
          tabla  tabla


(*Genero Base REORDENADA respecto al ordenamiento del Tag*)
BOrdenTag = Table[ { TagBase[[j]] ,  B[[j]] } , {j, 1, NTotalEstados}];
           tabla
BOrdenTag  = Sort[ BOrdenTag , #1[[1]] < #2[[1]] &] ;
            ordena
(*Reordena respecto a la primer entrada de los vectores. De menor a mayor*)
BOrdenTag  = BOrdenTag[[1 ;; NTotalEstados, 2]];



(* Terminos No Diagonales *)

Do[{
repite
  (*Genero los Operadores como vectores
   que suman la unidad en un sitio y lo quitan en otro*)
  Operador  =  Join[  Table[  UnitVector[MSitios,  Mod[i, MSitios, 1] ]  -
               junta   tabla   vector unidad        operación módulo
      UnitVector[MSitios,  Mod[i + 1, MSitios, 1] ]   , {i, 1, MSitios, 1}]  ,
      vector unidad        operación módulo
    Table[ - UnitVector[MSitios,  Mod[i, MSitios, 1] ]  +
    tabla    vector unidad        operación módulo
      UnitVector[MSitios,  Mod[i + 1, MSitios, 1] ]   , {i, 1, MSitios, 1}]  ]     ;
      vector unidad        operación módulo

  (*Aplico cada Operador a un estado*)
  EdoOperado  =
   Table[ BOrdenTag[[ ln ]]  + Operador[[i]] ,  {i, 1, 2 * MSitios, 1} ]     ;
   tabla

  (*Calculo el Tag del estado resultante de cada operación *)
  TagEdoOperado  =  Table[ Sum[ Sqrt[ 100 * i + 3 ]  * EdoOperado[[j, i]] ,
                    tabla   suma  raíz cuadrada
     {i, 1, MSitios, 1}] ,  {j, 1, 2 * MSitios, 1} ]     ;

  (*Calculo el coeficiente asociado a cada operación. El coeficiente
   esta es el respectivo a los operadores de creación y aniquilación*)
  CoefOperador  =  Join[  Table[  Sqrt[ BOrdenTag[[  ln  , Mod[i, MSitios, 1] ]]  + 1 ]  *
                   junta  tabla   raíz cuadrada           operación módulo
```

```
junta      tabla      raíz cuadrada                     operación módulo
     Sqrt[ BOrdenTag[[ ln  , Mod[i + 1, MSitios, 1] ]] ], { i, 1, MSitios, 1}]  ,
     raíz cuadrada                 operación módulo
   Table[    Sqrt[ BOrdenTag[[ ln  , Mod[i, MSitios, 1] ]] ]  *  Sqrt[
   tabla     raíz cuadrada                 operación módulo          raíz cuadrada
      BOrdenTag[[  ln  , Mod[i + 1, MSitios, 1] ]]  +  1 ] , { i, 1, MSitios, 1}]   ]     ;
                       operación módulo

  (* Identifico la posición del
   estado resultante de la operación en la Base. Teniendo esto,
  puedo asignarle el coeficiente a la entrada que corresponde del hamiltoniano *)
  Do[  HTAGbase[[ ln ,   Flatten[Position[TagBaseOrdenada,
  repite                 aplana    posición
        TagEdoOperado[[i]] ]]  ]]    =
    HBbase[[ ln ,   Flatten[Position[TagBaseOrdenada, TagEdoOperado[[i]] ]]  ]]   +
                    aplana    posición
     CoefOperador[[i]]   , {i, 1, 2 * MSitios, 1} ]     },

 (*Se itera para todos los estados*)
                    {ln, 1, NTotalEstados, 1}];


HTAGbase  = -t[[   NPuntos   ]] * (HTAGbase + ConjugateTranspose[HTAGbase]);
                                               transpuesto conjugado

(* Terminos de la Diagonal *)
                  diagonal

Do[HTAGbase[[i, i]] =  U  *  Sum[ BOrdenTag[[i, j]]^2 ,  {j, 1, MSitios, 1} ] /2 ,
repite                       suma
 {i, 1, NTotalEstados}];    (*Respectivo al operador de numero al cuadrado*)



HTAGbase // MatrixForm;
            forma de matriz




(*----------------------------------------------------------------------------
                                          -----------------------------------------
                                           ------------------------------------*)
(*----------------------------------------------------------------------------
                                          -----------------------------------------
                                           ------------------------------------*)
(*----------------------------------------------------------------------------
```

```
                                        ----------------------------------------
                                         ------------------------------------*)

(******************** ----- OBSERVABLES ----- ********************)

(******* ESTADO BASE *******)

EnergiaEdoBase[[  itn  , 2]] =
 Eigensystem[-HBbase, 1, Method → {"Arnoldi", "Criteria" → "RealPart"}][[1]] -
 autovalores y autovectores      método
  0 * U * NParticulas / 2 ;   (* Se resta el termino constante del Hamiltoniano *)

EdoBase = Flatten[
          aplana
  Eigensystem[ -HBbase, 1, Method → {"Arnoldi", "Criteria" → "RealPart"} ][[2]]  ];
  autoval···                   método

(******* FLUCTUACIONES *******)

(*La varianza del operador de numero por sitio respecto al estado Base*)

Dn2 [[  itn  , 2 ]] =
 Table[  Sum[  B[[i, j]]^2 * EdoBase[[i]] * Conjugate[ EdoBase[[i]] ]  ,
         suma                               conjugado
    {i, 1, NTotalEstados, 1} ]  -  Sum[  B[[i, j]] * EdoBase[[i]] *
                                   suma
      Conjugate[ EdoBase[[i]] ]  , {i, 1, NTotalEstados, 1} ]^2  , {j, 1, MSitios, 1} ];
      conjugado
```

```
(******* MATRIZ DE DENSIDAD REDUCIDA *******)

Mρ = Table[Table[0, {i, 1, MSitios, 1}], {j, 1, MSitios, 1}];
     tabla   tabla

(* Terminos No Diagonales *)

(* Operadores y los indices de su entrada correspondiente: Se definen los
   operadores como vectores para ser sumados al estado sobre el cual actuan.
    Cada operador va a estar asociado a una entrada especifica de la matriz,
se considera las entradas de los elementos superiores a la diagonal.*)
Operador  =  Flatten[   Table[ Table[ UnitVector[MSitios,  Mod[j, MSitios, 1] ]  -
             aplana     tabla  tabla  vector unidad       operación módulo
     UnitVector[MSitios,  Mod[i + j, MSitios, 1] ]   ,
                          operación módulo
    {i, 1, MSitios - j, 1} ] , {j, 1, MSitios - 1, 1}  ]   , 1 ]   ;
IndiceFila = Flatten[ Table[  Table[  j , {i, j, MSitios - 1, 1}]  ,
             aplana   tabla   tabla
   {j, 1, MSitios - 1, 1}] ];
IndiceColumna = Flatten[ Table[  Table[  i , {i, j, MSitios, 1}]  , {j, 2, MSitios, 1}] ];
                aplana   tabla   tabla



Do[  {
repite

  CoefOperadorMρ  = Table[0, {i, 1, NTotalEstados, 1}];
                    tabla

  Do[  {
  repite

    (*Se aplica el operador*)
    EdoOperado  =   B[[ ln ]]  +  Operador [[jn]]   ;

    (* Calculo el Tag del estado resultante de cada operación *)
    TagEdoOperado  =
     Sum[ Sqrt[ 100 * i + 3 ]  *  EdoOperado[[i]] ,  {i, 1, MSitios, 1}]   ;
          raíz cuadrada

    (* Calculo el coeficiente asociado a cada operación. El coeficiente
     esta es el respectivo a los operadores de creación y aniquilación,
    PERO ESTA MULTIPLICADO POR EL COEFICIENTE DEL ESTADO PREVIO A SER OPERADO,
    POR EL COEFICIENTE ASOCIADO AL ESTADO RESULTANTE DE LA OPERACIÓN,
    i.e., C_{i} * C_{k} donde k es determinado comparando el TAG del EDO
     OPERADO con la base ordenada, en este caso, la TagBaseORdenada *)
```

```
CoefOperadorMρ[[ln]] = EdoBase[[ Flatten[ Position[ TagBase,
                                   aplana    posición
      TagEdoOperado ] ] ]] * Conjugate[ EdoBase[[ ln ]] ] *
                             conjugado
     Sqrt[ B[[ ln , 2 ]] + 1 ] * Sqrt[ B[[ ln , 1 ]] ]   }
     raíz cuadrada               raíz cuadrada

    , {ln, 1, NTotalEstados, 1} ]     ;


  CoefOperadorMρ = Flatten [CoefOperadorMρ ]     ;  (*Posiciones no encontradas
                   aplana
   asigna elementos vacios {} que impiden sumar y multiplicar adecuadamente*)

  (* Se asigna el elemento de la matriz como
   la suma de todos los coeficientes de cada estado operado *)
  Mρ[[ IndiceFila[[jn]] , IndiceColumna[[jn]] ]] =
   Sum[ CoefOperadorMρ [[i]] , {i, 1, Length[CoefOperadorMρ ], 1} ]           }
                                    longitud

 (* Se itera para todos los operadores,
 i.e., todos los elementos superiores a la diagonal *)
          , {jn, 1, MSitios (MSitios - 1) / 2, 1}] ;



 Mρ = Mρ + ConjugateTranspose[Mρ];
           transpuesto conjugado




(* Terminos de la Diagonal *)
                  diagonal

Do[ Mρ[[j, j]] =  Sum[  B[[i, j]]  * EdoBase[[i]] * Conjugate[ EdoBase[[i]] ]  ,
repite            suma                               conjugado
   {i, 1, NTotalEstados, 1} ]  ,  {j, 1, MSitios, 1}  ];
(*Respectivo al operador de numero al cuadrado*)



Mρ // MatrixForm ;
      forma de matriz
```

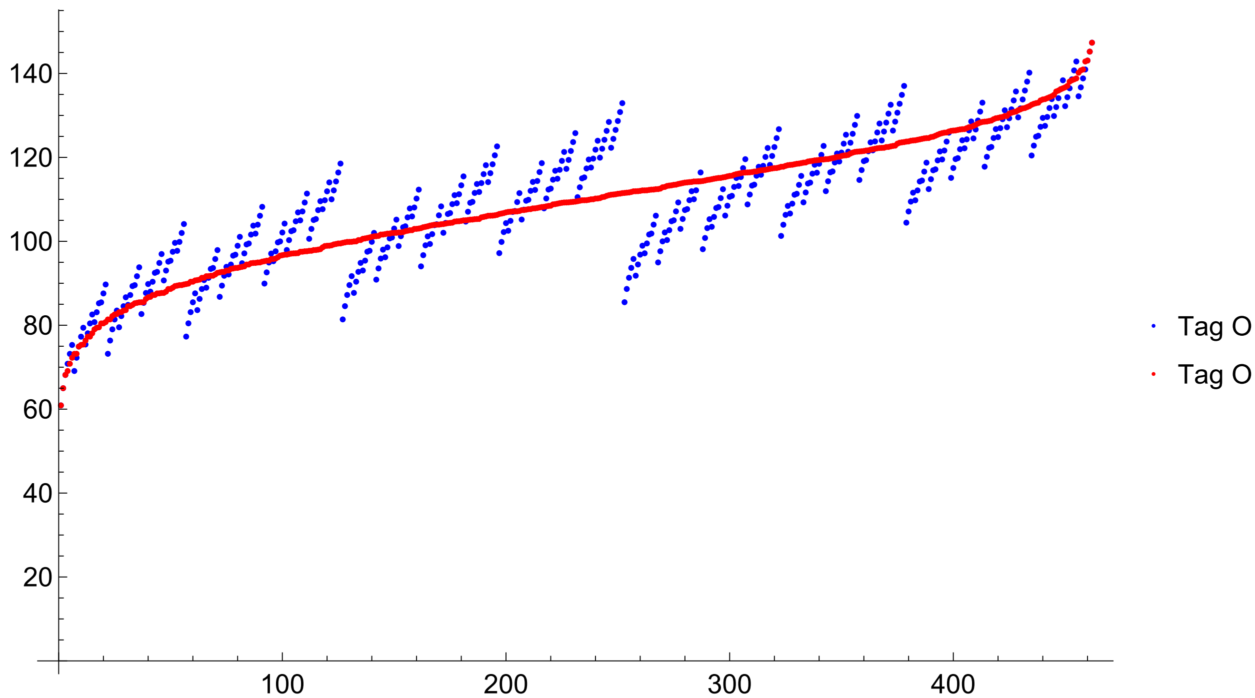
```
(******* FRACCIÓN DE CONDENSADO *******)

FraccionCondensado[[  itn  , 2]] =
 Max[ Eigensystem[ Mρ , MSitios][[1]] ] / NParticulas ;
       autovalores y autovectores
(* Puede ser Max[  Eigensystem[Mρ,MSitios,
             máximo autovalores y autovectores
    Method→{"Arnoldi","Criteria"→"RealPart"}][[1]]  ] *)
    método

, {itn, 1, NPuntos, 1}]; (*ITERACIÓN RESPECTO A t*)

(*-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------*)
(*-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------*)
(*-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------*)

(******************** ----- OUTPUTS DEL CODIGO ----- ********************)

(* Para evitar las iteraciones respecto a t *)
(* No todos los datos se guardan para cada caso de t,
como los hamiltnoanianos, Matriz de Densidad Reducida,
por lo que vemos sólo los correspondientes a la ultima iteración. *)

(******* BASE *******)
MatrixForm[B];
forma de matriz
TagBaseOrdenada;

Print[
escribe
```

```
escribe
 Style["Comparación de los Valores de Tags en la Base con orden Lexicografico respecto
 estilo
    al orden de Tag Ascendente", 18, Bold, Purple]]
                                     negrita púrpura
ListPlot[{TagBase, TagBaseOrdenada}, ImageSize → Large, LabelStyle → {14, Black},
representación de lista               tamaño de i⋯  grande  estilo de etiqueta  negro
 PlotStyle → {{Thick, Blue}, {Thick, Red}},
 estilo de represe⋯ grueso  azul  grueso  rojo
 PlotLegends → {"Tag Orden Lexicografico", "Tag Orden Ascendente"}]
 leyendas de representación



(******* HAMILTONIANO CON ORDEN LEXICOGRAFICO *******)
Print[ Style["Hamiltoniano con Orden Lexicografico", 18, Bold, Purple]]
escribe estilo                                          negrita púrpura
HBbase // MatrixForm;
          forma de matriz
MatrixPlot[HBbase , PlotTheme → "Detailed", ImageSize → Large, ColorFunction → Hue]
representación de matriz  tema de representación  tamaño de i⋯  grande  función de color  tonalidad



(******* HAMILTONIANO CON ORDEN TAG ASCENDENTE *******)
Print[ Style["Hamiltoniano con Orden de Tag Ascendente", 18, Bold, Purple]]
escribe estilo                                              negrita púrpura
HTAGbase // MatrixForm;
            forma de matriz
MatrixPlot[HTAGbase , PlotTheme → "Detailed", ImageSize → Large, ColorFunction → Hue]
representación de matriz  tema de representación  tamaño de i⋯  grande  función de color  tonalidad



(******* ENERGÍA ESTADO BASE *******)
EnergiaEdoBase = Flatten[ EnergiaEdoBase ];
                 aplana
EnergiaEdoBase =
  Table[ {EnergiaEdoBase[[i]] , EnergiaEdoBase[[i + 1]]} , {i, 1, 2 * NPuntos, 2}];
  tabla

Print[ Style["Energía del Estado Base", 18, Bold, Purple]]
escribe estilo                            negrita púrpura
EnergiaEdoBase  // MatrixForm
                   forma de matriz



(******* FLUCTUACIONES *******)
Print[ Style["Fluctuaciones  Δ(n_i)^2", 18, Bold, Purple]]
escribe estilo                          negrita púrpura
```

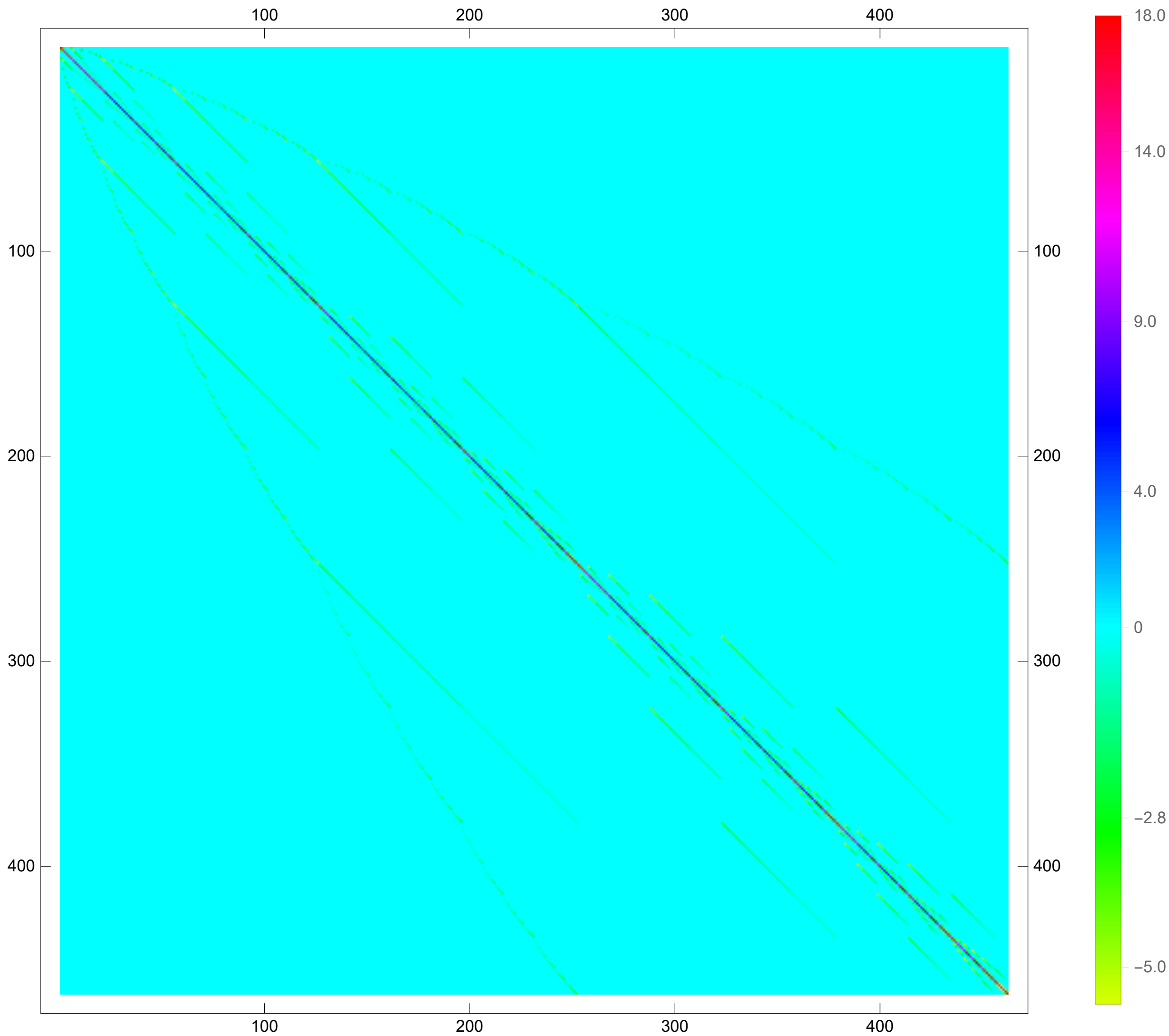
```
escribe  estilo                                              negrita púrpura
Dn2;

ListPlot[   Table[  Table[  { Dn2[[lk, 1]] ,  Dn2[[lk, 2, jk]] }  , {lk, 1, NPuntos, 1}]  ,
representaci···  tabla     tabla
   {jk, 1, MSitios, 1}]    , ImageSize → Large, AxesStyle → {Black, Black},
                             tamaño de i···  grande  estilo de ejes   negro   negro
 PlotStyle → {{PointSize[0.022], Blue}, {PointSize[0.018], Red}, {PointSize[0.014], Green},
 estilo de represe··· tamaño de punto    azul    tamaño de punto    rojo    tamaño de punto    verde
    {PointSize[0.011], Orange}, {PointSize[0.008], Purple}, {PointSize[0.004], Black}},
     tamaño de punto    naranja    tamaño de punto    púrpura    tamaño de punto    negro
 PlotLegends → {"Δ(n_1)^2", "Δ(n_2)^2", "Δ(n_3)^2", "Δ(n_4)^2", "Δ(n_5)^2", "Δ(n_6)^2"} ,
 leyendas de representación
 ImageSize → Large, LabelStyle → {14, Black}, AxesLabel → {"J/U" , "Δ(n_i)^2"}]
 tamaño de i···  grande  estilo de etiqueta    negro    etiqueta de ejes



(******* MATRIZ DE DENSIDAD REDUCIDA *******)
Print[
escribe
  Style["Matriz de Densidad Reducida  ρ. Su traza es igual al numero de partículas",
  estilo
   18, Bold, Purple]];
       negrita púrpura
Tr[Mρ]
traza
Mρ // MatrixForm
      forma de matriz
MatrixPlot[Mρ , PlotTheme → "Detailed", ImageSize → Large, ColorFunction → Hue];
representación de m··  tema de representación    tamaño de i···  grande  función de color    tonalidad



(******* FRACCIÓN DE CONDENSADO *******)
FraccionCondensado = Flatten[ FraccionCondensado ];
                     aplana
FraccionCondensado = Table[
                     tabla
   {FraccionCondensado[[i]] ,  FraccionCondensado[[i + 1]]}  , {i, 1, 2 * NPuntos, 2}];

Print[ Style["Fracción de Condensado  f_c", 18, Bold, Purple]]
escribe  estilo                                  negrita púrpura
FraccionCondensado;

ListPlot[FraccionCondensado, ImageSize → Large, AxesStyle → {Black, Black},
representación de lista       tamaño de i···  grande  estilo de ejes   negro   negro
 PlotStyle → {Thickness[10], Purple}, PlotLegends → {"f_c"} ,
 estilo de repre···  grosor       púrpura    leyendas de representación
 ImageSize → Large, LabelStyle → {14, Black}, AxesLabel → {"J/U" , "f_c"}]
 tamaño de i···  grande  estilo de etiqueta    negro    etiqueta de ejes
```

tamaño de f··· grande estilo de etiqueta negro etiqueta de ejes

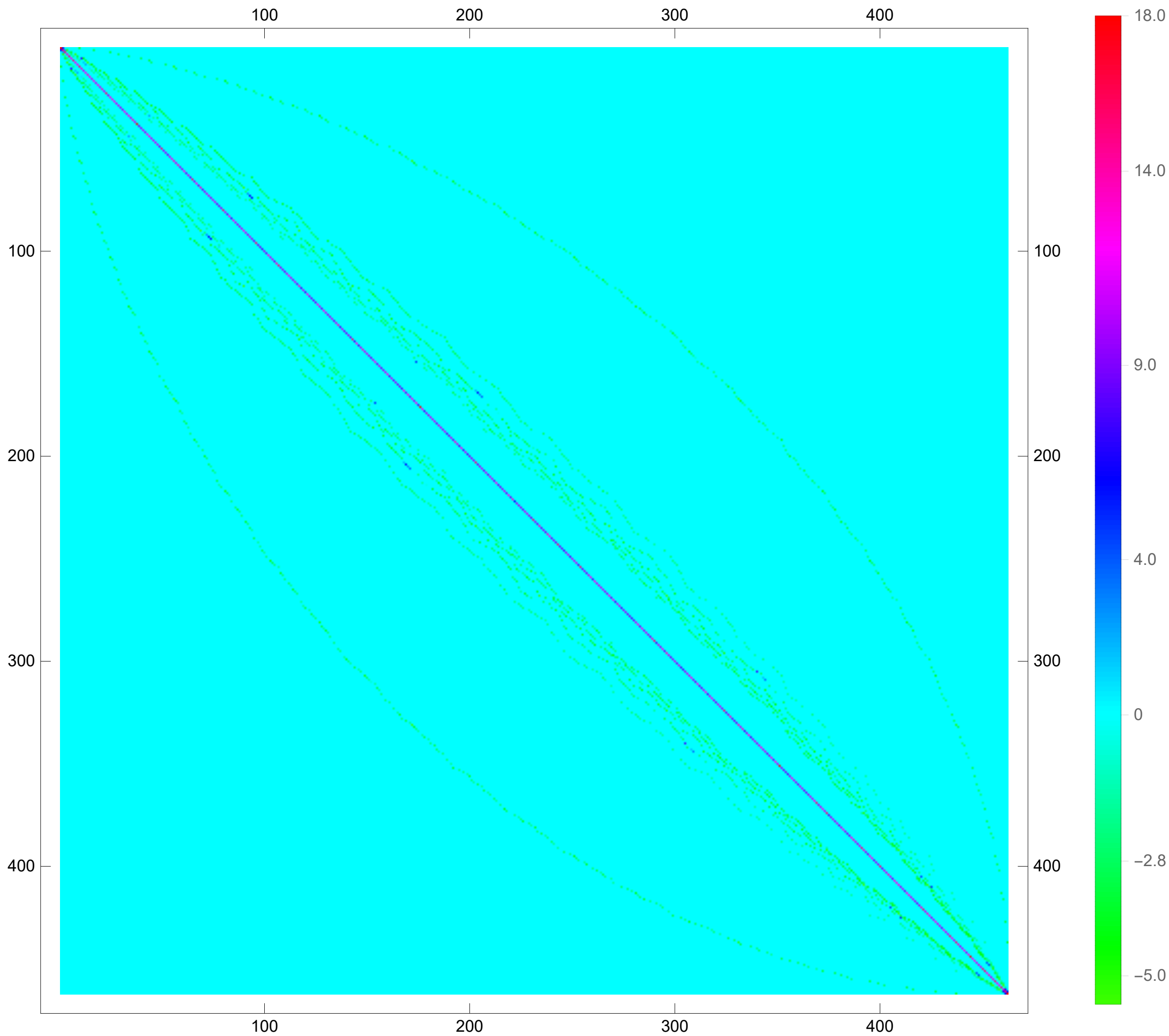
Comparación de los Valores de Tags en la Base con orden Lexicografico respecto al orden de Tag Ascendente



Hamiltoniano con Orden Lexicografico



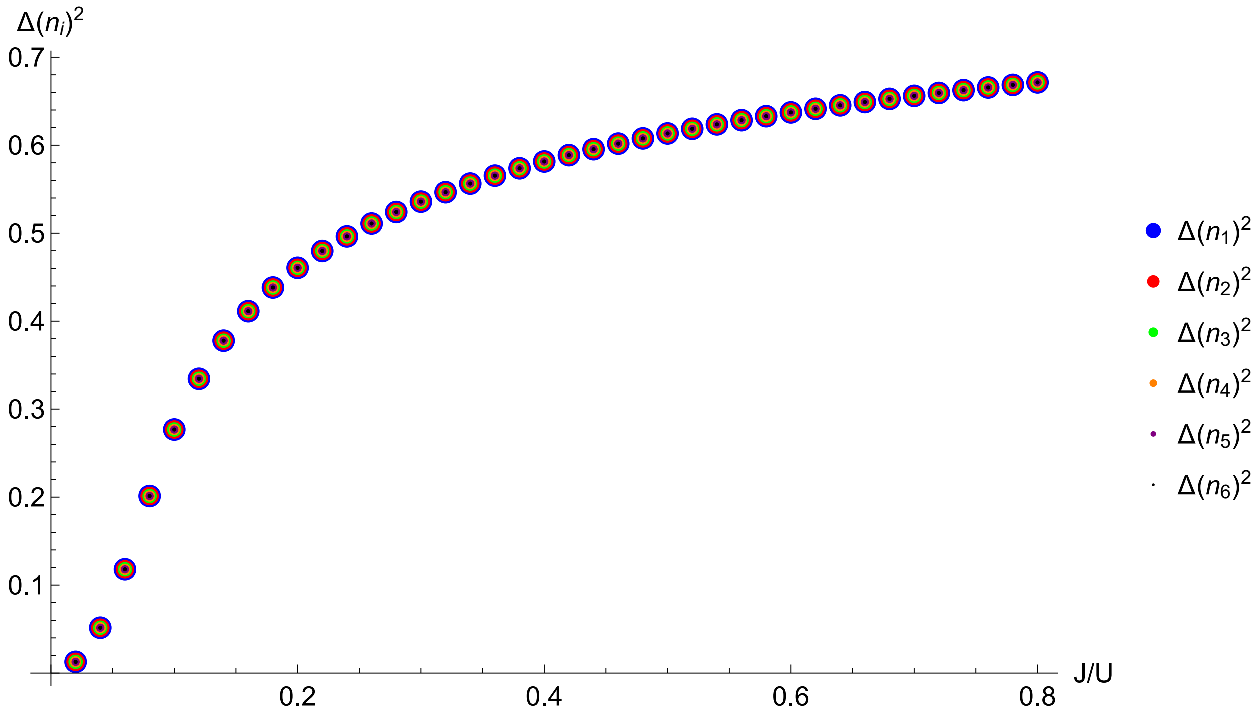
Hamiltoniano con Orden de Tag Ascendente



Energía del Estado Base

$$\begin{pmatrix} 0.02 & -2.96164 \\ 0.04 & -2.84649 \\ 0.06 & -2.6526 \\ 0.08 & -2.38152 \\ 0.1 & -2.0487 \\ 0.12 & -1.67522 \\ 0.14 & -1.27638 \\ 0.16 & -0.861076 \\ 0.18 & -0.434448 \\ 0.2 & 0.000404298 \\ 0.22 & 0.441484 \\ 0.24 & 0.887435 \\ 0.26 & 1.33729 \\ 0.28 & 1.79035 \\ 0.3 & 2.24608 \\ 0.32 & 2.70406 \\ 0.34 & 3.16396 \\ 0.36 & 3.62553 \\ 0.38 & 4.08854 \\ 0.4 & 4.55282 \\ 0.42 & 5.01822 \\ 0.44 & 5.48462 \\ 0.46 & 5.95192 \\ 0.48 & 6.42001 \\ 0.5 & 6.88883 \\ 0.52 & 7.3583 \\ 0.54 & 7.82836 \\ 0.56 & 8.29897 \\ 0.58 & 8.77008 \\ 0.6 & 9.24165 \\ 0.62 & 9.71364 \\ 0.64 & 10.186 \\ 0.66 & 10.6587 \\ 0.68 & 11.1318 \\ 0.7 & 11.6052 \\ 0.72 & 12.0789 \\ 0.74 & 12.5528 \\ 0.76 & 13.027 \\ 0.78 & 13.5014 \\ 0.8 & 13.9761 \end{pmatrix}$$

Fluctuaciones $\Delta(n_i)^2$



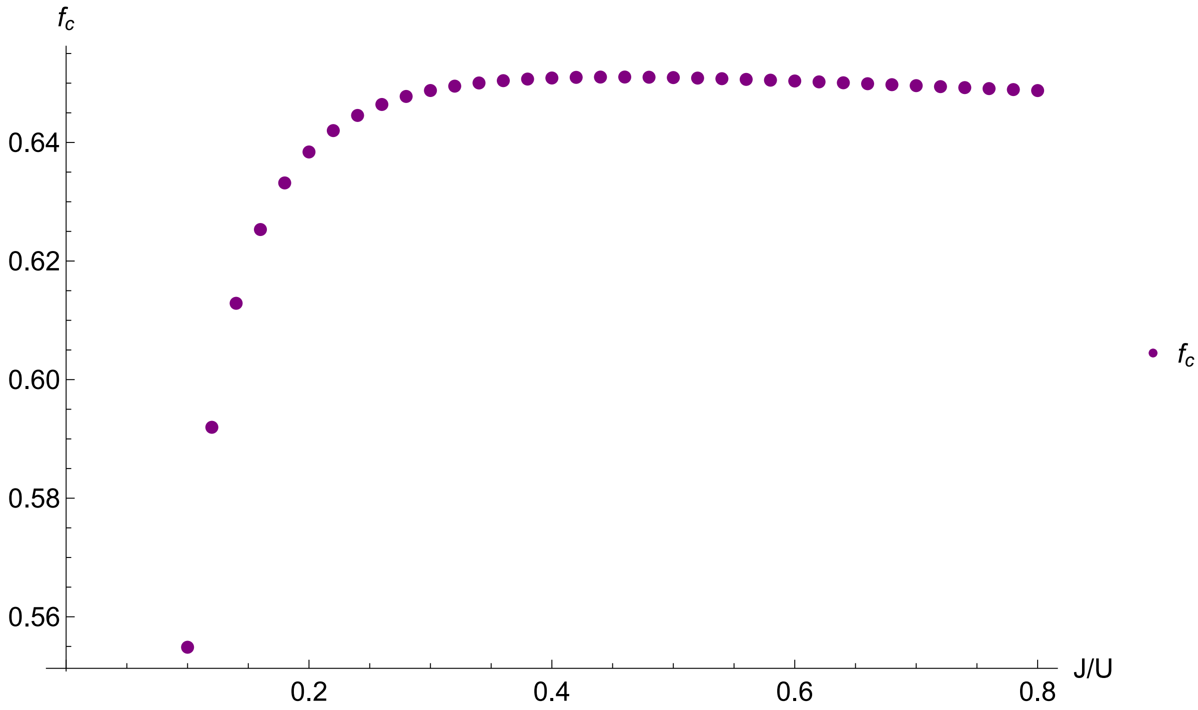
Matriz de Densidad Reducida ρ.

Su traza es igual al numero de partículas

6.

$$\begin{pmatrix} 1. & 0.557918 & 0.456946 & 0.458626 & 0.460212 & 0.459646 \\ 0.557918 & 1. & 0.598436 & 0.589848 & 0.58343 & 0.576741 \\ 0.456946 & 0.598436 & 1. & 0.662181 & 0.644276 & 0.62721 \\ 0.458626 & 0.589848 & 0.662181 & 1. & 0.666971 & 0.63848 \\ 0.460212 & 0.58343 & 0.644276 & 0.666971 & 1. & 0.651997 \\ 0.459646 & 0.576741 & 0.62721 & 0.63848 & 0.651997 & 1. \end{pmatrix}$$

Fracción de Condensado f_c


f_c
0.64
0.62
0.60
0.58
0.56
0.2
0.4
0.6
0.8
J/U
f_c