



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

“SIMULACIÓN DEL FLUJO DE PEATONES DEL MODELO DE HELBING USANDO PYTHON”

TESIS:

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE LA LIC. EN ING. EN CIENCIAS
DE LA COMPUTACIÓN**

PRESENTA:

SERGIO PEDRO PEDRAZA GONZÁLEZ

ASESORES:

**DR. ALEJANDRO RANGEL HUERTA
MTRA. ANA LUISA BALLINAS HERNÁNDEZ**

PUEBLA, PUEBLA

ENERO DEL 2013

Contenido

Contenido	1
Resumen	1
1. Introducción	1
1.1. Tratado general del proyecto	4
1.2. Objetivos Generales y Específicos del Proyecto	5
1.3. Metodología	6
1.4. Resultados Esperados	7
1.5. Aportaciones	8

2. El concepto de fuerza social	10
2.1. Introducción	10
2.2. Marco Histórico	11
2.3. Visión general sobre la fuerza social	17
3. Formulación del modelo de fuerza social	21
3.1. Modelado de la fuerza social	21
3.2. Modelo de fuerza social: Formulación	27
4. Simulación por computadora: El modelo bajo Python	33
5. Resultados y conclusiones	45
Anexos	53
Referencias	60

RESUMEN

El movimiento que realiza un grupo de personas al cruzar un cruceo lo podemos observar como un fenómeno cotidiano, mismo que causa expectación y asombro gracias a una coordinación inconsciente de los mismos. Este tipo de conglomerados se conforman por una unidad básica llamada peatón, la cual, tiene como objetivo llegar a un destino bajo los siguientes preceptos: llevar una velocidad y aceleración deseada, una condición que lo delimita de otros peatones y fronteras, complementado al fin, con un efecto atractivo hacia ciertos lugares o distracciones. A este efecto lo podemos llamar como las fuerzas sociales, que son una medida para que cada uno, de manera interna, realice movimientos y acciones comunes en la vida cotidiana que, a su vez, las simulaciones por computadora de dichos peatones entrelazados muestran que el modelo de fuerza social es capaz de describir la misma organización, observando efectos colectivos de conducta pedestre de forma muy real, hasta aproximarnos a los eventos que suceden dentro de las situaciones que a diario se perciben en cualquier lugar.

Capítulo 1

Introducción

Los fenómenos que a diario se perciben en cualquier lugar del planeta, con respecto al movimiento y organización de seres vivos, suelen llamar la atención a aquellos investigadores que se interesan por descubrir la manera en que se desarrollan y cómo es que funcionan, de tal modo que la reproducción de estos pueda simularse en una computadora bajo algún lenguaje de programación. Uno de tantas situaciones cotidianas que se perciben en el medio es el caminar de las personas en sitios designados, sean para paseo o dentro de lugares públicos, en los cuales, un flujo considerable de personas transita logrando cierto tipo de distribuciones que parecen ser sacadas de complejas coreografías ^[1]. Actualmente los seres humanos, vistos como peatones, conviven en un medio en el cual es importante destacar ciertas situaciones:

-
- La mayoría de las veces y sin querer estos individuos comparten una línea direccional que los hace auto-organizarse de un modo inconsciente, haciendo formaciones que les permite el libre tránsito o acceso a un lugar en específico, aunque terminado este efecto, esta misma pueda disolverse.
 - La velocidad con la que se mueven suele regularse a la de los demás, causado por el movimiento irregular que llevan a cabo, que en apariencia suele ser una caminata promedio entre todos los peatones y las diferentes velocidades con las que se mueven.
 - El hecho de que parezca ser un solo grupo no significa que todos estén de acuerdo en hacer este tipo de maniobras, al contrario de lo especulativo, esta es una forma por la cual se puede transitar en lugares usualmente concurridos.
 - Esto es posible de calcular mediante un modelo matemático que determine este tipo de movimientos, simulado y controlado a través de un lenguaje de programación, ya que estos fenómenos actúan de manera descentralizada a lo que normalmente responderían si fueran actos controlados y ordenados.

El movimiento que efectúan los peatones al transitar en algún lugar y momento determinado es posible describirlo mediante un algoritmo basado en algún modelo que estudie el comportamiento peatonal que nos pueda definir este tipo de situaciones. Al ser un movimiento irregular, caótico o indeterminado, suelen existir ciertas complicaciones, por una parte no todos los peatones comparten algún motivo que los guie hacia un destino en común o un cambio imprevisto en cuanto a su velocidad, además que siempre se tiene al tiempo comprometido en cada momento. Las regularidades que muestran en su ambiente suelen ser análogas con otros seres vivos, insistiendo en una auto-organización que, de forma descentralizada, crea situaciones que sorprende al ojo humano ^[2] [7].

Una vez que se tiene por completo dicho sistema de ecuaciones, es posible simular dichos comportamientos en una computadora, obteniendo resultados gratos y curiosos para su estudio. Entre los peatones suelen existir formas independientes de actuar, algunas con decisiones que no le interesan a los demás, pero que de manera grupal, estos comparten ciertos factores en cuanto se dan estas situaciones, tales como una velocidad deseada o regulada, algunos efectos de atracción, repulsión y fluctuaciones. Esto significa que los peatones son atraídos por un punto en especial al cual desean llegar, el efecto de repulsión nace cuando el peatón necesita un espacio por el cual pueda transitar al tratar de evadir a otros peatones en contraflujo y las fluctuaciones son necesarias cuando hay que acelerar o disminuir la velocidad del avance, esto acorde con los obstáculos que se puedan encontrar durante ese trayecto ^[3].

De esta manera es posible modelar el movimiento y comportamiento de los peatones en situaciones reales a partir de una simulación de computadora, la cual debe ser controlada de acuerdo a un modelo acorde a la situación que se desea estudiar, ya que existe más de un estudio acerca de los peatones con un nivel de percepción distinto, ya que sus condiciones iniciales pueden variar ante la situación con la cual modelen su trabajo ^[3] ^[4].

Podemos observar que, durante el caminado de estos grupos de peatones dentro de un ambiente o lugar creado especialmente para su libre tránsito, sean calles, pasillos, tiendas departamentales, etc., se suelen caracterizar por los siguientes elementos de interacción entre ellos:

- Velocidad deseada.
- Algún efecto de atracción.
- Algún efecto de repulsión.
- Fluctuaciones.

-
- Dirección de destino.

El objetivo de los peatones es:

- Optimizar la manera de caminar buscando las rutas más convenientes.
- Minimizar los retardos.
- Evitar obstáculos.
- Caminar hacia su destino en un tiempo calculado o determinado.
- Aplicado a un conglomerado de peatones, obtener una organización descentralizada para mejorar el caminado, mismo que no aplique el término uno a uno para cada elemento de estos grupos ^[5].

Tratado general del proyecto.

Por un lado, el proyecto de origen trata sobre la dinámica de conglomerados y sus características básicas de grupo a partir de cada uno de los individuos que los componen. Es por ello que se ha planteado reproducir comportamientos colectivos, como lo son los peatones. El modelado y simulación de la formación de patrones dinámicos de un conglomerado de peatones en corredores en contra flujo aplicando un modelo matemático como lo es la fuerza social y un modelo cinético. El desarrollo del modelo considera dos aspectos del movimiento de los peatones:

- Un modelo de fuerza social, que resuelve los conflictos de colisión por medio de un conjunto de reglas básicas que definen los nuevos valores de las variables microscópicas de estado.

-
-
- Un modelo cinético para el estudio estadístico de las colisiones ocasionadas cuando contamos con una cantidad muy grande de peatones en contra flujo dentro de un pasillo.

Objetivos Generales y Específicos del Proyecto.

Para el siguiente trabajo de tesis, se tienen contemplados los siguientes objetivos generales:

- Estudiar el modelo de simulación del flujo de peatones de Dirk Helbing.
- Analizar el modelo matemático de esta teoría, a su vez discretizar para su programación, desarrollar el software que nos efectuó la simulación deseada a partir de este modelo matemático.
- Escribir la documentación correspondiente acerca de este trabajo.

Dentro de los objetivos específicos que guiaran el desarrollo de este trabajo se encuentran los siguientes:

- Estudiar el problema básico acerca del modelo del flujo de peatones de Dirk Helbing, dirigido hacia el tránsito de individuos dentro de un corredor o pasillo, analizando dicha teoría para formular un modelo que sea posible de simular.
- Analizar el modelo correspondiente, discretizar paso a paso hasta obtener un método numérico, mismo que servirá para dar marco a la programación del proyecto.
- Desarrollar un software a partir del lenguaje de programación Python, en el cual se modelara tanto el código que nos permita ejecutar dicho fenómeno social en una computadora, así como el ambiente que será

programado cumpliendo las condiciones iniciales que exige este modelo, los cuales son grupos de peatones que se mueven dentro de un corredor, para que al final de dicho acto, obtener un simulado de flujos de peatones.

- Una vez desarrollado el software, escribir la documentación correspondiente contando tanto con un marco teórico acerca del modelo, planeación del problema, desarrollo y discretización del método matemático a método numérico, obteniendo el algoritmo necesario que nos permita programar este modelo, de esta forma se esperan los resultados deseados, analizados y documentados, todo esto compilado dentro de una tesis que, además, contendrá las referencias con las cuales se lograra obtener este proyecto.

Metodología.

El problema al cual se va a desarrollar se basa en el modelo propuesto por Dirk Helbing para su modelado de la fuerza social dentro de una dinámica pedestre, misma que cuenta con una serie de estatutos que se tienen que desarrollar.

Desde el punto teórico, como lo son los antecedentes con los cuales se llega la formulación del movimiento del grupo al cual se simulara mediante la programación de dicho modelo matemático para poder analizar los datos arrojados por el software desarrollado, hasta las conclusiones, misma que deben ser las ya estudiada y esperadas de acuerdo con la discretización tanto teórica como practica de dicho tema.

- Paso 1:
 - Estudio general del tema a desarrollar para tesis:
 - Modelo de fuerza social para la dinámica pedestre de Dirk Helbing.

-
- Documentar, aumentar y corregir el tema según sea necesario, mediante publicaciones, información en la web, complementar a partir de otras tesis.
 - Organizar el conjunto de reglas para la implementación del modelo en un simulador programado en Python.
 - Paso 2:
 - Discretizar el modelo general de fuerza social:
 - Estudio general del planteamiento de la fuerza social.
 - Análisis de formulas.
 - Discretización del método general.
 - Discretización del método de forma particular según se avanza y desarrolla el tema y el modelo.
 - Obtener algoritmo para su programación.
 - Paso 3
 - Programación del modelo matemático de fuerza social en Python:
 - Analizar y documentar cada uno de los resultados que se desprendan a partir del simulador.
 - Recopilar toda la información obtenida tanto en el estudio teórico y práctico que genere este tema a desarrollar.

Resultados Esperados.

Dentro de los resultados que se esperan después de todo un estudio acerca del modelo matemático del flujo de peatones de Dirk Helbing se encuentran:

- El desarrollo de un software, a partir de Python, que nos ayude a simular el comportamiento de los peatones dentro un área en la cual se tengan que mover, mismo que nos podrá dar resultados estadísticos, los cuales servirán de referencia para un estudio más profundo, ya que esto es un marco de referencia para futuros desarrollos y proyectos.

-
- La documentación obtenida, toda una compilación sobre las referencias utilizadas para la creación de este proyecto, en tesis, ya que contendrá todo el marco teórico que, para usos y fines futuros, determinarán una línea de estudio, análisis e investigación para temas futuros acerca de los flujos peatonales.

Aportaciones.

Dentro de las aportaciones inmediatas que puede dar este tema hacia otras ramas de la investigación y la ciencia son:

- Un modelo base para desarrollar tipos de conglomerados.
- Una documentación en la cual se fundamentan las bases acerca del modelo de fuerza social para dinámicas pedestres, debido a la analogía que existe con otros grupos o conjuntos de seres, además del estudio de estos en diferentes áreas.

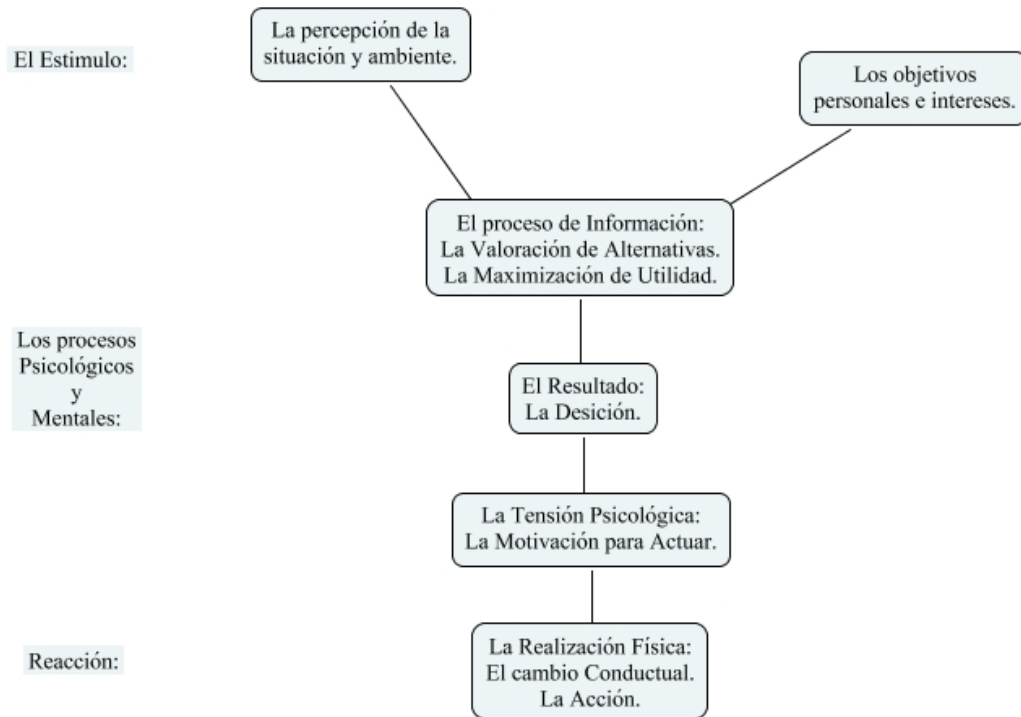


Figura 1. Representación esquemática de procesos que llevan a los cambios conductuales.

Clasificación de conductas según su complejidad		
El estímulo	Simple o situaciones normales.	Complejo o nuevas situaciones.
Reacción	Reacción automática o reflejo.	Resultado de evaluación, proceso de decisión.
Caracterización	Bien predecible.	Probabilidad.
Concepto Modelado	Modelo de fuerza social, etc.	Modelo teórico de decisión.
Ejemplo	Movimiento peatonal.	Opción del destino por los peatones.

Tabla 1. Clasificación de conductas según su complejidad.

Capitulo 2

EL CONCEPTO DE FUERZA SOCIAL

Introducción.

El estudio del movimiento peatonal, usando un modelo matemático que analice este tipo de fenómenos, ha servido de base para otro tipo de estudios que ayudan a la mejor planeación de espacios con grandes flujos peatonales. Recientemente hay un interés creciente en el estudio de los entornos urbanos donde los sistemas presentan mucha complejidad. La noción de que la auto-organización de las ciudades se comporte como sistemas fractales se utiliza con frecuencia. Para caracterizar esta complejidad de los entornos urbanos se realizan una serie de simulaciones con peatones con lo que se quiere ilustrar la formación de la morfología urbana. Por ejemplo, por medio del uso de reglas simples sobre el caminado libre y con otros se podrían generar los patrones espaciales de la distribución urbana ^[14].

La complejidad de los entornos urbanos implica muchos aspectos, pero básicamente por nuestro interés, solo dos pueden ser identificados. El primero se refiere a la evolución de la estructura urbana, es decir, la formación de la forma urbana, y el segundo tiene que ver más con las actividades sociales de los seres humanos dentro de entornos urbanos: Por ejemplo, el patrón de una multitud de peatones y los flujos de tráfico relacionados con ello. Ha habido muchos esfuerzos en el estudio de la primera de las áreas mencionada de estudio urbano. Hasta el momento un esfuerzo relativamente menor se ha hecho en el segundo. En este contexto la simulación de modelos de fuerza social parece ser de utilidad en la comprensión de la complejidad del caminado de conglomerados. El objetivo principal de estos estudios fue la elaboración de directrices para la planificación y diseño urbano.

Marco histórico.

Los movimientos colectivos de los vuelos de los pájaros han representado siempre un enigma. La reconstrucción por computadora de estos desplazamientos permitió demostrar en los años ochenta que la simple interacción entre los individuos inmediatamente próximos basta para provocar un movimiento de conjunto. Este fenómeno responde a leyes que se encuentran en la física, las transiciones de fase que, por ejemplo, caracterizan los cambios en el estado magnético del hierro. La aplicación de estas reglas, aunque modificadas para tener en cuenta el comportamiento individual, en situaciones normales o de pánico, permite estudiar, según los físicos Dirk Helbing y Peter Molnár, la disposición de las vías de circulación y la ubicación de las salidas de emergencia ^[3].

Muchos científicos han aceptado hasta ahora que los complejos patrones del comportamiento humano son el resultado de muchos y sutiles factores psicológicos que superan el alcance de cualquier modelo matemático. Ahora parece que muchos aspectos de la conducta de los peatones se pueden representar

en modelos que contienen sólo unas pocas suposiciones básicas acerca de cómo se mueven los individuos. Dirk Helbing empezó a representar el comportamiento de los peatones a principios de los años noventa en la Universidad de Stuttgart. En 1995, él y su colega Peter Molnár desarrollaron un modelo de *fuerza social*. Partieron de la base de que la gente que camina en medio de la multitud o en lugares públicos se guía sólo por unos pocos impulsos ^[3]. Cada uno quiere moverse en una dirección determinada y a una velocidad determinada y se mantiene a una distancia de los demás. Hay también un pequeño elemento de azar en dicho movimiento debido, por ejemplo, a la tendencia de una persona a salirse de su ruta o a aumentar o reducir su velocidad.

Helbing y Molnár demostraron que una muchedumbre modelo de gente virtual que se movía según estas reglas podía mostrar un comportamiento sorprendentemente real. Por ejemplo, si dos grupos de gente virtual se mueven en direcciones opuestas por un corredor muy poblado, automáticamente forman filas de corrientes opuestas, como hace la gente en la vida real. No hay nada en el modelo que le diga a la gente que forme filas; este comportamiento se deriva de las reglas que gobiernan el movimiento de cada individuo.

Los investigadores de temas relacionados con movilidad y transporte estudian desde hace varios años el fenómeno del peatón. Los seres humanos que circulan a pie muestran un comportamiento mucho más complejo que los conductores de automóvil. La aparición espontánea de atascos en autopistas con mucho tráfico se puede explicar ahora muy fácilmente: un sólo conductor distraído que frena bruscamente es suficiente para desatar una reacción en cadena. Cuanto más preciso puedan simular los científicos el comportamiento de los peatones, mejor se podrán construir edificios, estadios, cruceros o estaciones de tren. De esta forma se evitan muchedumbres innecesarias, incluso se puede prevenir el pánico de las masas. De esta manera, se reduce la presión por la salida, por la que todos buscan abrirse paso a la fuerza ^[8].

Los científicos entienden muy bien el fenómeno de las personas en situaciones particulares. "En los últimos años ha quedado claro que los peatones no sólo caminan de forma caótica, sino que espontáneamente surge un orden de ese caos". En la Ciudad de México uno de los principales problemas es el tráfico, la congestión vehicular es un problema que está creciendo alrededor del mundo, de forma alarmante tráfico, de tal manera que minimizándola se ahorraría dinero y reducir emisiones, como efecto se puede reducir el stress y la frustración en los conductores ^[7].

Helbing dijo que el movimiento natural de oscilación es el resultado de la acumulación de presión en el lado donde la gente está esperando. De tal forma que el equipo se cuestiona respecto a, si el mismo principio pudiera ser usado para controlar el tráfico. Adoptando semáforos que permitan mejorar el tránsito sería una alternativa para disminuir los problemas que el tráfico genera. No obstante, es sólo una parte del gran problema que el tráfico genera, puesto que son los vehículos manejados por los humanos y por sus conductas en el tránsito.

No podemos negar que la ciencia ha desempeñado un papel importante en la comprensión de los aspectos de estos sistemas, pero ¿podría hacer más? Dirk Helbing esboza un ambicioso proyecto para poder llegar más allá, mucho más allá. Su objetivo es crear una enorme base de datos que involucre la mayor cantidad de acciones que la humanidad provoca. Es decir, cada grano de trigo que se cultiva, siembra, cosecha y vende. Otro ejemplo sería estudiar y plasmar en datos la evolución de un bosque desde su nacimiento hasta su extinción y los factores que alteran este ciclo de vida. La evolución de la economía hogareña de cada ciudadano también estaría inserta y tendría su relevancia dentro de los datos almacenados. Las estadísticas económicas de una región industrial pueden definir su tasa de crecimiento a mediano y largo plazo y esto es información muy importante para economistas o inversores dentro de las economías capitalistas ^[5].

La idea es pensar en este proyecto como una especie de Google Earth para la sociedad pero incluyendo hasta los detalles más pequeños de su comportamiento. Todos hemos jugado con los mapas en 3D de Google Earth. Este famoso sistema utiliza datos reales para mostrar no sólo la ciudad donde vivimos y trabajamos, sino también nuestra casa y hasta nuestro jardín. Nos reímos cuando descubrimos que la imagen es algo antigua y no refleja las últimas ampliaciones hechas en el frente del hogar o muestra el viejo coche que poseíamos aparcado frente a nuestra cochera. En algunos casos, la situación es inversa. Nos asombra ver que el sistema se actualiza en forma acelerada y muestra cambios de una semana a la otra.

Ahora imaginemos un modelo similar que utilice en tiempo real cosas tan diversas como las transacciones financieras, los registros de salud, los detalles de viajes, las emisiones de dióxido de carbono y así sucesivamente hasta construir un modelo, no sólo del planeta sino de toda la sociedad en su conjunto. Helbing lo llama "*reality mining*" lo que traducido al castellano sería algo similar a "aprovechando y explotando la realidad". Con este inmenso caudal de datos, el sistema sería capaz no sólo de construir un modelado del planeta en tiempo real, sino de estudiar todas las estadísticas y aprovecharlas para simular el futuro, de una forma similar a lo que hacen los meteorólogos con el clima.

Este "Simulador de Helbing" podrá predecir burbujas económicas como las que han pasado algunos países poco tiempo atrás, prevenir amenazas de pandemias sugiriendo cómo enfrentarlas, modelar y predecir el resultado de conflictos regionales y hasta determinar el efecto de nuestro comportamiento sobre el clima. Con un costo de más de mil millones de Euros financiados por la Unión Europea, Helbing está reuniendo un extraordinario equipo de profesionales e investigadores de las mejores universidades de Europa intentando tener todo el sistema preparado para el año 2022.

Teniendo en cuenta todos los datos expuestos ¿cómo se controlan la ambición ante un plan de estas características? Sin duda alguna, este “*Living Earth Simulator*” cambiará la forma en que nos vemos a nosotros mismos y nos ayudará a comprender hacia donde nos dirigimos como humanidad. Además, nos ayudará a comprender todos los beneficios que podremos aprovechar de las acciones que ya estamos haciendo bien e intentar corregir muchas que estamos haciendo mal sin darnos cuenta. La gran preocupación, por supuesto, es que no sean las grandes universidades públicas e institutos de investigación, financiados por los gobiernos, quienes completen esta tarea. Los enormes beneficios que este sistema podría significar lo convierten en una herramienta muy valiosa para las compañías de seguros, los corredores financieros o algunas empresas multinacionales. No es difícil imaginar a Google estar interesada en la construcción de este modelo. Tiene todo lo que hace falta para lograrlo, sólo le falta la decisión de hacerlo. Además, ¿Por qué no podría hacerlo?

Un simulador de la vida en la Tierra se está gestando y se acerca, de una manera u otra, quizá incluso hasta tu dormitorio o tu teléfono móvil. La idea ya está plantada y la intención de Dirk Helbing está enfocada hacia su utilización para el bien de la humanidad. La pregunta más importante y preocupante por ahora es saber quién lo construirá. De ello dependerán los resultados de esta manipulación de datos. Por esto, volviendo al texto del sumario repetimos, una especie de proyecto Manhattan se está gestando y esperemos que esta vez se traduzca en un beneficio real para la humanidad toda.

Un modelo, que considera la cooperación como propiedad emergente, sugiere que, bajo ciertas condiciones, el comportamiento deshonesto de algunos individuos puede mejorar la sociedad. Podemos creer que las leyes morales son impuestas por designio divino o pensar que si son un hecho natural deben ser un producto natural de la evolución socio-biológica y que pueden estudiarse científicamente. Después de todo, una sociedad formada por una especie

inteligente que no desarrolle unas reglas mínimas de comportamiento está condenada al fracaso y a la desaparición.

La pregunta del millón es saber cómo la ética o la moral aparecen en un mundo donde cada uno sólo mira para sí mismo. Según los resultados de este modelo la respuesta yace en cómo las personas interaccionan con sus vecinos más próximos en lugar de en la sociedad en su conjunto que, bajo ciertas condiciones, el comportamiento deshonesto de algunos individuos puede mejorar la sociedad. Un bien común como los recursos naturales o los beneficios sociales son frecuentemente agotados porque el interés de cada individuo ignora el conjunto del mundo o la sociedad. El comportamiento cooperativo puede ser forzado mediante el castigo, pero requiere tiempo y esfuerzo por parte de los otros y éstos pueden dejar de aplicar los correctivos. Sin correctivos los oportunistas o aprovechados pueden campar a sus anchas en detrimento de todos los demás y finalmente agotar el recurso común ^[6].

La pregunta, una vez más, es saber cómo aparece la cooperación. Ya hemos visto en esta misma web cómo se han propuesto la reciprocidad indirecta, la reputación, el castigo o la recompensa como mecanismos que aseguran el mantenimiento de la cooperación. Sin embargo, nada de esto es necesario para que la cooperación florezca.

Para llegar a esta conclusión los investigadores se centraron en la idea de que los individuos se comportan de una manera racional en función de cómo lo hacen sus vecinos, en lugar de en cómo lo hace la población entera (esta última posibilidad exige unos buenos canales de comunicación que permitan acuerdos de castigo, algo que no tiene por qué estar presente).

Visión general sobre la fuerza social.

Durante las últimas dos décadas, los modelos de conducta peatonal han encontrado el interés notable por varias razones. Primero, éstas son algunas analogías llamativas con los gases y fluidos. Segundo, todo modelo cuantitativo como los lugares \bar{r}_r y velocidades \bar{v}_r de peatones Γ es mensurable y por consiguiente comparable con los datos empíricos. Tercero, en ellos ya existe una cantidad considerable de material de datos como las medidas de flujo o video películas. Cuarto, los modelos del peatón pueden mantener las valiosas herramientas de diseño y planeando las áreas pedestres, el metro, o las estaciones ferrocarril, edificios grandes, los centros comerciales, etc. ^[4].

Dentro de los aspectos de mayor interés en este tema, podemos decir que el movimiento peatonal suele ser caótico, un tanto irregular y no predecible, debido a cualquier factor o situación que lo puede hacer cambiar de opinión, siendo en general una situación compleja. La descripción suele estar basada en cuestión de probabilidad, esto puede funcionar dentro de un grupo o de manera individual, siendo esto el principio de la descripción de lo que llamamos fuerza social, siendo comparado con la cinemática del gas ^[2].

Existen una serie de pasos que nos sugieren como es el movimiento de un peatón: desde los estímulos hasta la reacción existente ante cada situación. Podemos decir que el estímulo se puede manifestar como la percepción de las situaciones que lo rodean y el ambiente en el cual se encuentra, así como los objetivos personales y sus intereses particulares. Los procesos psicológicos y mentales que lleva a cabo dicho peatón lo llevan a procesar la información que ha procesado, valora las alternativas que tiene a la mano y maximiza la utilidad de esas usándolas como herramientas que le ayudaran a llegar a un objetivo: una decisión que tiene que hacer después de analizar todo su alrededor. Anudado a esto, el peatón toma la decisión de reaccionar ante una tensión psicológica, eso que

lo motiva a actuar, a llevar a cabo su caminado, un cambio conductual o la acción final y esperada del peatón. En general, los pasos anteriores representan los cambios conductuales del peatón.

Existen cierto tipo de estímulos que se encuentran dentro de las situaciones estándar, lo que lo hace ser un tanto predecible y complejo dentro de nuevas situaciones haciéndolo un modelo probabilístico.

Dentro de las conductas existen algunos tipos destacables:

- Los hay con situaciones normales o simples, llegando a las complejas o con otro tipo de estímulo o situación.
- La reacción de estos tipos de conductas van desde una reacción automática o reflejo, hasta un resultado de evaluación, conllevando un proceso de decisión.
- Suelen ser predecibles hasta llegar a un punto probabilístico.

Todo este tipo de conductas buscan obtener la mejor decisión que les ayude a resolver la manera en que van a realizar un simple caminado, en contraflujo con otro grupo de peatones con objetivos en común: optimizar su ruta de caminado hasta llegar a su objetivo.

Ahora podemos decir que este tipo de conductas y movimientos pueden ser comparables con un sistema de ecuaciones del sistema de cambio temporal $d\vec{v}_r/dt$ con una velocidad preferida o adecuada $\vec{v}_r(t)$ de un peatón Γ que puede ser descrito por un vector cuantitativo $\vec{F}_r(t)$, lo cual puede ser interpretado como una fuerza social. Esta fuerza puede representar los efectos que existen en el ambiente, ya sean otros peatones, límites o fronteras dentro del mismo punto o situación en la que este el peatón. Como siempre, la fuerza social no está exenta por el ambiente de los peatones, eso es una medida cualitativa que describe en

concreto el acto de la motivación. En el caso de los peatones esta motivación evoca una producción psíquica de una aceleración o desaceleración, siendo la fuerza como una reacción para la obtención de información que el peatón obtenga del ambiente.

El movimiento de los peatones, las distribuciones que estos adoptan para poder trasladarse de un punto a otro nacen a partir de decisiones individuales, ya que en ningún momento existe una comunicación explícita entre ellos para organizarse y dirigirse hacia su destino particular. Para esto, el modelo se transformaría, ya que solo en eventos como los desfiles existen condiciones ideales para un caminado uniforme dentro de los conjuntos como los contingentes militares o estudiantiles. Esto suele coincidir en lugares concurridos, mas no de un lugar o país a otro, esto debido a que, dependiendo de la cultura que tenga cada individuo hasta la planificación de dichos sitios, ya que la condiciones para cada uno de estos varía según las necesidades de las ciudades, sitios concurridos o los intereses propios de cada peatón ^{[2][9]}.

Helbing expone y genera su modelo a partir de observaciones que, en conjunto con sus investigadores, que obtuvieron en Alemania, dando como resultado grupos de peatones descentralizados (esto a que no existe un peatón guía o líder que los lleve a un destino general o particular), organizados de manera que podían circular dentro de las aéreas designadas para esos lugares.

Podemos adoptar este modelo a partir de observaciones obtenidas en lugares como los que hay en el estado de Puebla, para tal efecto se tomara como referencia una de las tantas calles concurridas del mismo; cuyas características coincidentes y propias con el modelo son:

- La planeación de los sitios designados o de libre tránsito.
- Una cultura que predomina entre los peatones.

-
- Los picos mínimos y máximos de tránsito en esos lugares.

De forma general, podemos asumir que el modelo de Helbing puede aplicarse a cualquier lugar con el fin de obtener resultados que, a manera de ejemplo, ayuden a una mejor planeación para una zona de libre concurrencia peatonal; basta en este caso adaptar las condiciones iniciales que necesita dicho modelo al lugar en el que tenga que ser aplicado ^[12].

En el caso de algún lugar propuesto, así como de otros sitios, se coincide en el punto que el movimiento de los peatones es inconsistente y un tanto caótico, definido porque los destinos, tanto sea en un sentido o contraflujo de los mismos, se vuelven un factor común y denominador de estos grupos que se forman durante el lapso o tiempo que tarda ese recorrido, después de darse por terminado ese efecto, estos conglomerados terminan por disolverse, haciendo de este modelos finito para el momento en el cual o necesitamos y se está llevando la acción, aunque para otros fines, el ciclo se torna infinito, al menos dentro de la vida cotidiana ^[14].

Un peatón, como unidad básica de esos conjuntos, puede actuar de manera independiente, según sus intereses particulares, trazando la ruta más óptima de caminado, evadiendo a otros que transiten tanto en su sentido como en dirección opuesta, tanto banquetas, bardas jardines..., con tal de no chocar y de esa forma llegar a su destino. Sin embargo, un grupo suele ser más complejo ya que, a partir de decisiones individuales, en caso de que estos vayan juntos y sean conocidos, o mero sentido común como fenómeno psicológico de agrupación primitiva, se forman reglas de caminado temporal, las cuales los ayudan a establecer formas de caminado, sea moderado, rápida o lenta, evadiendo obstáculos hasta concluir ese lapso de caminado, cada peatón opta por seguir o detenerse en su destino, a partir de decisiones individuales.

Capítulo 3

FORMULACIÓN DEL MODELO DE FUERZA SOCIAL.

Modelado de la fuerza social.

Según el modelo de fuerza social formulado por Dirk Helbing, el movimiento de los peatones puede ser descrito mediante un modelo matemático, este se aproxima para cada uno de los aspectos del caminado según estén ubicados dentro de un cruce, pasillo, corredor o cualquier lugar en donde se encuentren ^[2].

Podemos decir que este modelo de flujo de peatones, nos describe el movimiento que realiza un grupo de peatones dentro de un espacio común en el que se encuentren ubicados en contraflujo. Estos peatones buscan un objetivo en común: llegar a un destino en particular, bajo las condiciones óptimas de caminado, ajustadas a un tiempo calculable en el cual recorran ese trayecto. Con una perspectiva matemática, este tipo de situaciones pueden simularse bajo algún lenguaje de programación (que en este caso será Python), con un correcto desarrollo de las fórmulas del modelo, haciendo de esto una estructura programable ^{[11][15]}.

Como primer paso podemos hablar de la creación de estos grupos de peatones llamados P_r y P_s , siendo el modelado de los peatones que interactuaran dentro de nuestra simulación que van desde 1, 2, ..., n el número de los peatones creados respectivamente. Como tales, se encuentran regido con ciertas variables de estado en dos dimensiones, siendo:

- \vec{r}_r : Posición del peatón.
- \vec{v}_r : Velocidad que tiene el peatón.
- t : Lapso de tiempo de ese peatón en que hará el caminado.

Cada una de estas condiciones iniciales está formada por dos componentes, los cuales lo hacen ser un vector, denominado en el punto “x” y en el punto “y” respectivamente ^[10].

Para este modelo, el principio básico con el cual esta formulado el modelo de fuerza social es:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{f}_r \quad (3.1)$$

Donde:

- m : Masa de un cuerpo.
- $d\vec{v}$: Vector de aceleración en dos dimensiones.
- dt : Derivada del tiempo.
- \vec{f}_r : Fuerza total de aceleraciones del modelo.

La base de la fuerza social está regida por la Segunda Ley de Newton en donde una masa multiplicada por un vector de aceleración va a ser igual a una

fuerza \vec{f}_r , que en este caso será la fuerza social. Considerando que la masa sea unitaria o igual a uno, obtenemos lo siguiente:

$$\vec{a} = \vec{f}_r, \quad (3.2)$$

donde el vector de aceleración es igual a las fuerzas que actúan sobre la fuerza social.

Cada una de las condiciones iniciales se debe de operar de tal forma que obtengamos una velocidad con la cual el peatón hará un movimiento continuo (pasos), a su vez el cambio de posición a partir de la proporción de la primera. Por lo tanto, las condiciones iniciales, partiendo de ese principio son:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}, \vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (3.3)$$

siendo:

- \vec{v} : Velocidad en dos dimensiones.
- $d\vec{r}$: Derivada de la posición del peatón.

Para obtener una velocidad con la cual nuestro peatón realiza un movimiento debemos partir de la siguiente serie de operaciones:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (3.4)$$

donde la aceleración es igual a la derivada de la velocidad con respecto al tiempo.

$$d\vec{v} = \vec{a} dt \quad (3.5)$$

Realizando las operaciones, ya que queremos obtener una velocidad.

$$\int_{\vec{v}(0)}^{\vec{v}(t)} d\vec{v} = \int_0^t \vec{a} dt \quad (3.6)$$

Una operación que nos despeje a la derivada es la integral.

$$\vec{v}(t) - \vec{v}(0) = \vec{a}t \quad (3.7)$$

Resuelta la integral, se puede ver que existe una velocidad inicial y una velocidad por actualizar, que sería nuestro siguiente paso.

$$\vec{v}(t) = \vec{v}(0) + \vec{a}t \quad (3.8)$$

En donde:

- $\vec{v}(t)$: Vector de velocidad, indicando la nueva posición con respecto al tiempo.
- $\vec{v}(0)$: Vector de la velocidad inicial.
- $\vec{a}t$: vector de aceleración por un tiempo, que indica el tipo de caminado que efectúa el peatón.

Como se necesita actualizar la velocidad, la formula anterior nos sirve para adecuar nuestro caminado.

El nuevo objetivo para continuar con el modelado del caminado de nuestros peatones es buscar la forma en que la velocidad se actualiza paso a paso y, como en el caso anterior, efectuaremos una serie de operaciones con nuestras ecuaciones, siendo:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \Rightarrow \int_{\vec{v}(t)}^{\vec{v}(t+\Delta t)} d\vec{v} = \int_t^{t+\Delta t} \vec{a} dt \quad (3.9)$$

La misma aceleración se sabe que es la derivada de la velocidad con un tiempo de cambio, lo cual nos lleva a realizar la integral por ambas partes, pero en este caso, los parámetros corren desde un tiempo t hasta un tiempo t más un delta en ambos casos.

$$\vec{v}(t + \Delta t) = \vec{v}(t) + \vec{f}_r \Delta t \quad (4.0)$$

Donde:

- $\vec{v}(t + \Delta t)$: Vector de velocidad, que cambia con respecto a un tiempo t más un Δt .
- $\vec{f}_r \Delta t$: Suma de las fuerzas de aceleración, en general la fuerza social.

A partir de este punto, podemos establecer que, en este punto la fuerza social actúa de manera inmediata. Esta sería la fórmula con la cual la velocidad ahora se actualiza con un paso Δ , además de que la fuerza total con la cual actúa el modelo de Helbing puede ser adicionada a la velocidad con la cual se va a mover nuestro peatón.

Para establecer una posición de forma continua o con un cambio con respecto al tiempo, el procedimiento es simular a la formulación de la velocidad, pero en este caso partiremos del punto de nuestra condición inicial:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \Rightarrow \int_{\vec{r}(t)}^{\vec{r}(t+\Delta t)} d\vec{r} = \int_t^{t+\Delta t} \vec{v} dt \quad (4.1)$$

sabemos de la velocidad es igual a la derivada de una posición con respecto a un tiempo t , para obtener tanto la posición como una velocidad con la cual va a cambiar dicha posición, se procede a la derivada respectiva en cada una de las partes, contando ya con un incremento Δ respectivamente en cuanto a sus intervalos de cambio.

$$\vec{r}(t+\Delta t) - \vec{r}(t) = \vec{v}\Delta t \quad (4.2)$$

Ahora sabemos que nuestra nueva posición $\vec{r}(t+\Delta t)$ menos la posición inicial $\vec{r}(t)$ de nuestro peatón es igual a una velocidad $\vec{v}\Delta t$.

$$\vec{r}(t+\Delta t) = \vec{r}(t) + \vec{v}(t+\Delta t) \quad (4.3)$$

En lo cual:

- $\vec{r}(t+\Delta t)$: Nueva posición de peatón.
- $\vec{r}(t)$: Posición anterior del peatón.

Esta es la fórmula con la cual se actualizara la posición de nuestro peatón, tomando en cuenta la velocidad ya calculada anteriormente.

La fuerza social está compuesta por dos fuerzas, mismas que se encuentran sumadas y que se aplican como una aceleración. Esta fuerza hace que el peatón tenga un movimiento que se acerca a al movimiento que realiza un ser humano en la vida real, con lo cual:

$$\vec{f}_{Tr} = \vec{f}_r^0 + \vec{f}_{rs} + random \quad (4.4)$$

donde:

- \vec{f}_{Ta} : Vector de la fuerza total.
- \vec{f}_r^0 : Vector de fuerza o aceleración del caminado libre.
- \vec{f}_{rs} : Vector de fuerza o aceleración combinado con otros peatones.
- *random* : Valor aleatorio que lo haga variar en cada paso en el que se mueva nuestro peatón.

Las formas de caminado correspondientes que actuaran con el peatón son dos, clasificadas de la siguiente forma:

- Existe una forma de caminado libre, en la cual nuestro peatón hará un movimiento balístico, rectilíneo, ya que en ningún momento percibe algún tipo de obstáculo u algún otro peatón que se interponga en su camino.
- Existe otra forma de caminado que implica el caminado con otros peatones, efecto en el cual al percibir algún tipo de obstáculo o un peatón, este ejecutara un giro con tal de evadir dichos casos, buscando una ruta que no lo haga perder su destino.

Modelo de fuerza social: Formulación.

Para adentrarnos en este modelo, siguiendo los principales efectos que determinan el movimiento de un peatón r se marcarán los siguientes aspectos ^[2]: Se dice que un peatón quiere alcanzar cierto destino \vec{r}_r^0 tan cómodo como sea posible. De aquí toma una ruta sin desvíos, la opción que posiblemente sea la más corta. Esta normalmente tendrá la forma de un polígono con los puntos $\vec{r}_r^1, \dots, \vec{r}_r^n = \vec{r}_r^0$. Si \vec{r}_r^k es el próximo borde de este polígono para alcanzar su dirección deseada, también marcado como el vector unitario que nos indica el tamaño de paso $\vec{e}_r(t)$, el siguiente punto a moverse será:

$$\vec{e}_r(t) = \frac{\vec{r}_r^k - \vec{r}_r(t)}{\|\vec{r}_r^k - \vec{r}_r(t)\|} \quad (4.5)$$

Donde $\vec{r}_r(t)$ denota la posición real de peatón r en un momento t . De un modo más exacto, los destinos de un peatón son áreas que representan cada uno de

los puntos \vec{r}_r^k . En este caso, se quiere a cada peatón en un tiempo t para el punto $\vec{r}_r^k(t)$ más cercano del punto asignado.

Este caminará en la dirección $\vec{e}_r(t)$ con una cierta velocidad v_r^0 deseada. Una desviación de la velocidad real $\vec{v}_r(t)$ de la velocidad deseada $\vec{v}_r^0(t) = v_r^0 \vec{e}_r(t)$ es debido a la desaceleración necesaria hacia una tendencia $\vec{v}_r^0(t)$ para acercarse nuevamente a un tiempo de relajación \dagger_r . Esto puede describirse por el término de aceleración con la siguiente fórmula:

$$\vec{F}_r^0(\vec{v}_r, v_r^0 \vec{e}_r) = \frac{1}{\dagger_r} (v_r^0 \vec{e}_r - \vec{v}_r) \quad (4.6)$$

O en su forma discreta para poderse programar sería:

$$\vec{f}_r^0 = \frac{\vec{v}_r^0 - \vec{v}_r(t)}{\dagger_r} \quad (4.7)$$

El movimiento de un peatón r puede verse influenciado por otros peatones. En particular, el peatón se mantiene alejado a una cierta distancia de otros peatones que dependen de la densidad peatonal y la velocidad deseada v_r^0 . En este apartado del modelo, se dice que cada peatón tiene un área privada que puede interpretarse como un efecto territorial, jugando un papel esencial delimitando a cada miembro para evitar choques o colisiones. Un peatón normalmente se siente incómodo estando cerca de un peatón extraño que puede reaccionar de manera agresiva. Esto produce efectos repulsivos de otros peatones s que pueden representarse por las cantidades vectoriales:

$$\vec{f}_{rs}(\vec{r}_{rs}) = -\nabla_{\vec{r}_{rs}} V_{rs} [b(\vec{r}_{rs})] \quad (4.8a)$$

$$\vec{f}_{rs} = -Ae^{-\frac{\|\vec{r}_{rs}\|}{B}} \hat{e}_{rs}^n \quad (4.8b)$$

donde:

- A : Valor complementario de la fuerza, constante de parámetro.
- B : Valor complementario de la fuerza, constante de parámetro.
- \hat{e}_{rs}^n : Exponencial de la curva entre los peatones.

Nosotros asumiremos que el potencial repulsivo $V_{rs}(b)$ es monótona a la función decreciente de b , dibujando líneas que tienen la forma de una elipse que se dirige en la dirección de movimiento. La razón consiste en que un peatón requiere cierto espacio para dar el próximo paso que tiene en cuenta por otros peatones. En este caso b denota el eje del semi-menor de la elipse y se da por:

$$2b = \sqrt{(\|\vec{r}_{rs}\| + \|\vec{r}_{rs} - v_s \Delta t \vec{e}_s\|)^2 - (v_s \Delta t)^2} \quad (4.9)$$

Dónde $\vec{r}_{rs} = \vec{r}_a - \vec{r}_s$. $s_s = v_s \Delta t$ es del orden de la anchura del paso de peatón s . A pesar de la simplicidad de este acercamiento, describe maniobras de la anulación de peatones bastante reales.

Un peatón se mantiene alejado a cierta distancia de edificios, paredes, calles, obstáculos, etc., sintiéndose incómodo debido a que camina hacia un área referente a una pared y tiene que prestar más atención para evitar dañarse o lastimar a un peatón próximo. Por consiguiente, una frontera B evoca un efecto repulsivo que puede describirse:

$$\vec{F}_{rB}(\vec{r}_{rB}) = -\nabla_{\vec{r}_{rB}} U_{rB}(\|\vec{r}_{rB}\|) \quad (5.0)$$

Con un efecto repulsivo y monótono de el potencial decreciente $U_{rB}(\|\vec{r}_{rB}\|)$. Aquí el vector $\vec{r}_{rB} = \vec{r}_r - \vec{r}_B^r$ se ha introducido, dónde \vec{r}_B^r denota la situación de ese pedazo de frontera B que está más cercano al peatón r .

Los peatones a veces son atraídos por otras personas (amigos, artistas callejeros, etc.) u objetos. Estos efectos atractivos \vec{f}_{r_i} a los lugares \vec{r}_i pueden planearse como efectos atractivos, monótonos y son los potenciales crecientes $v_{r_i}(\|\vec{r}_i\|, t)$ en cierto modo similar a los efectos repulsivos:

$$\vec{f}_{r_i}(\|\vec{r}_i\|, t) = -\nabla_{\vec{r}_i} v_{r_i}(\|\vec{r}_i\|, t)(\vec{r}_i = \vec{r} - \vec{r}_i) \quad (5.1)$$

La diferencia principal es que el efecto atractivo $\|\vec{f}_{r_i}\|$ normalmente está disminuyendo con tiempo t desde que se está rechazando o superando este punto. Los efectos atractivos son responsables para la formación de grupos peatonales (esto es comparable con las moléculas).

Sin embargo, las fórmulas que nos indican los efectos atractivos y repulsivos sólo se sostienen para las situaciones que se perciben en la dirección deseada $\vec{e}_r(t)$ de movimiento. Este tipo de situaciones localizadas detrás de un peatón tendrán una influencia más débil C con $0 < c < 1$. Para tomar este efecto de percepción (del ángulo eficaz $2\dots$ de vista) en la cuenta, nosotros tenemos que introducir los pesos de personas a cargo de una dirección.

$$v(\vec{e}, \vec{f}) = \begin{cases} 1 & \text{si } \vec{e} \cdot \vec{f} \geq \|\vec{f}\| \cos \dots \\ c & \text{como siguiente punto.} \end{cases}$$

En el resumen, los efectos repulsivos y atractivos en una conducta de los peatones se dan por:

$$\vec{F}_{rs}(\vec{e}_r, \vec{r}_r - \vec{r}_s) = v(\vec{e}_r, -\vec{f}_{rs}) \vec{f}_{rs}(\vec{r}_r - \vec{r}_s) \quad (5.2)$$

$$\vec{F}_{ri}(\vec{e}_r, \vec{r}_r - \vec{r}_i, t) = v(\vec{e}_r, -\vec{f}_{ri}) \vec{f}_{ri}(\vec{r}_r - \vec{r}_i, t) \quad (5.3)$$

Nosotros podemos preparar la ecuación ahora para unos peatones que sumen la motivación $\vec{F}_r(t)$. Desde que todos los efectos previamente

mencionados influyen en una decisión de los peatones en el mismo momento, nosotros asumiremos que sus efectos totales se dan por la suma de todos los efectos, como en el caso de fuerzas. Esto resulta en:

$$\vec{F}_r(t) = \vec{F}_r^0(\vec{v}_r, v_r^0 \vec{e}_r) + \sum_s \vec{F}_{rs}(\vec{e}_r, \vec{r}_r - \vec{r}_s) + \sum_B \vec{F}_{rB}(\vec{e}_r, \vec{r}_r - \vec{r}_B^r) + \sum_i \vec{F}_{ri}(\vec{e}_r, \vec{r}_r - \vec{r}_i, t) \quad (5.4)$$

El modelo de fuerza social se define ahora por:

$$\frac{d\vec{v}_r}{dt} = \vec{F}_r(t) + \text{fluctuaciones} \quad (5.5)$$

Aquí nosotros hemos agregado un término de fluctuaciones que tiene en cuenta variaciones aleatorias de la conducta. Estas fluctuaciones provienen de de situaciones semejantes en que las alternativas más conductuales son equivalentes (si la utilidad de pasar un obstáculo en el lado derecho o izquierdo es el mismo). Además, las fluctuaciones se levantan de las desviaciones accidentales o deliberadas de las reglas usuales de movimiento.

Para completar el modelo de dinámica peatonal existe una relación entre la velocidad real $\vec{v}_r(t)$ y la velocidad preferida $\vec{v}_r(t)$ como un promedio que regula el paso de los peatones. Desde que la velocidad real está limitada por un peatón la velocidad aceptable máxima v_r^{\max} , nosotros asumiremos que el movimiento comprendido se da por:

$$\frac{d\vec{r}_r}{dt} = \vec{v}_r(t) = \vec{v}_r(t) g\left(\frac{v_r^{\max}}{\|\vec{v}_r\|}\right) \quad (5.6)$$

Con:

$$g\left(\frac{v_r^{\max}}{\|\vec{v}_r\|}\right) = \begin{cases} 1 & \text{si } \|\vec{v}_r\| \leq v_r^{\max} \\ v_r^{\max} / \|\vec{v}_r\| & \text{en otro caso.} \end{cases}$$

En el siguiente capítulo haremos la implementación del modelo de fuerza social usando las dos formas de caminado mencionadas anteriormente aplicado al lenguaje de programación Python.

Capítulo 4

SIMULACIÓN POR COMPUTADORA: EL MODELO BAJO PYTHON.

El objetivo ya mencionado para este proyecto de tesis consiste en realizar una simulación del flujo de peatones, estos a su vez tratarán de llegar a un objetivo particular que, para esta ocasión, será llegar de un extremo a otro, aplicando la fuerza social que los hará avanzar hacia su destino con los puntos ya mencionados que caracterizan a este modelo:

- Una velocidad deseada.
- Un destino.
- Evitar colisiones con otros peatones así como son límites o barreras que existe en el corredor.
- Acelerar y desacelerar su paso según sea conveniente.
- Llegar a su destino final.

Para poder realizar este proyecto, tomaremos el planteamiento anterior visto en el capítulo anterior, basado en el modelo de fuerza social de Dirk Helbing.

Al iniciar un programa de Python, es necesario mandar a llamar una librería llamada visual (ejemplo: `from visual import *`), con la cual se podrán utilizar de manera general todos los elementos gráfico en 3D que sean necesarios para este programa ^{[11][13]}.

Como estructura inicial es necesario crear un escenario en el cual, los peatones creados hagan dicha simulación del movimiento que queremos simular. En este caso, iniciaremos con la creación de un corredor por el cual nuestros peatones ejecutaran dicha acción. Para esto, en Python se maneja de la siguiente forma:

```
from visual import *  
  
display(title="SIMULACION DEL FLUJO DE PEATONES DEL MODELO  
DE DIRK HELBING USANDO PYTHON.", width=600, height=600,  
pos=(0,0,0),background=(0,0,0))  
  
side = 4.0  
  
thk = 0.35  
  
s2 = 2*side - thk #ANCHO DEL PASILLO => 7.65  
  
largo = 25 #VALOR QUE DEFINE EL LARGO DEL PASILLO  
  
#####CREACION DEL ESCENARIO => PASILLO O CORREDOR#####  
  
wallR = box (pos=( side -.12, side/4 -.12, 0), length=.12, height=side/2,  
width=largo, color = color.orange)#PARED DERECHA  
  
wallL = box (pos=(-side +.12, side/4 -.12, 0), length=.12, height=side/2,  
width=largo, color = color.red)#PARED IZQUIERDA
```

```
wallT = box (pos=(0, -15, 0), length=s2, height=.12, width=largo+3, color =  
color.blue)#PISO
```

```
#####
```

Y obtenemos un escenario de la siguiente forma:

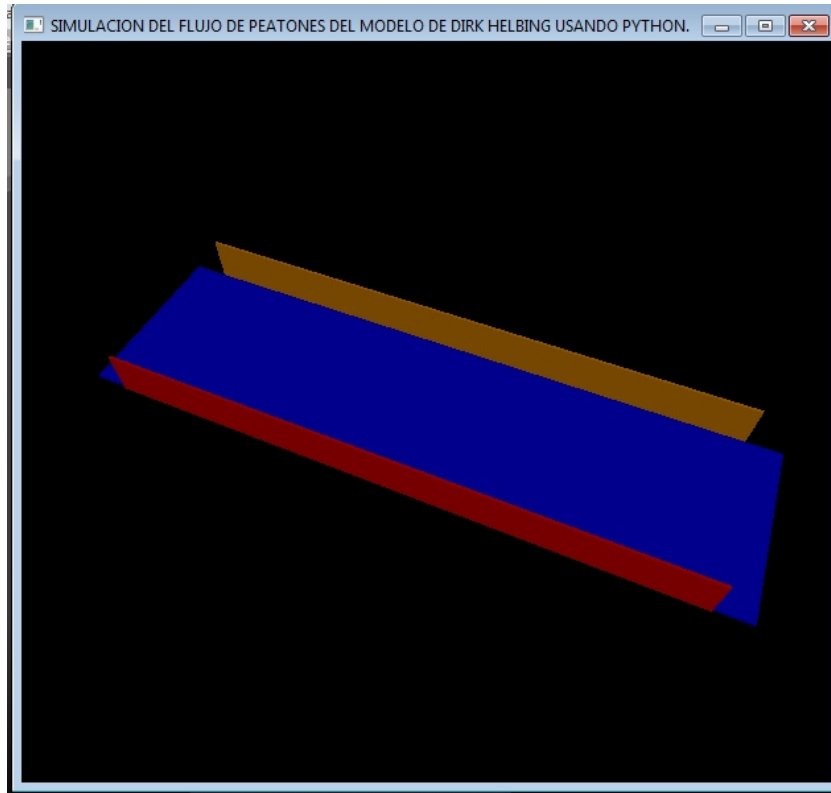


Figura 4.1: Ventana de ejecución: Escenario.

En este caso, tenemos un corredor con su respectivo piso y sus paredes, mismas que, dentro de la ventana de ejecución de Python usamos las coordenadas o componentes “x” y “z” para que se pueda realizar todo el modelado de los peatones. Se hizo conveniente usar de esta forma los vectores ya que comparten la línea horizontal de nuestro piso y por lo tanto no se verá afectado con comportamientos extraños en la simulación. Como en el ejemplo anterior, el modo visual de Python hace que sea más apreciativo dicho programa, además de que al crear objetos su implementación sea de lo más sencilla.

Otra parte de nuestro programa es la creación de los peatones, llamados en este caso “lista de peatones a” y “lista de peatones b”, con ciertos atributos entre los cuales destacan lo que es la velocidad y posición inicial de cada uno de los peatones, así como la velocidad deseada por ellos y su aceleración ya determinada, atribuidas en un objeto en 3D como lo es un cilindro, el cual será la base para modelar a nuestros peatones dentro del corredor, ya sea desde un solo peatón por cada lista hasta un numero que se necesite para ejecutar y visualizar el efecto que nos presenta este modelo de fuerza social de Dirk Helbing,

El resultado nos quedaría así:

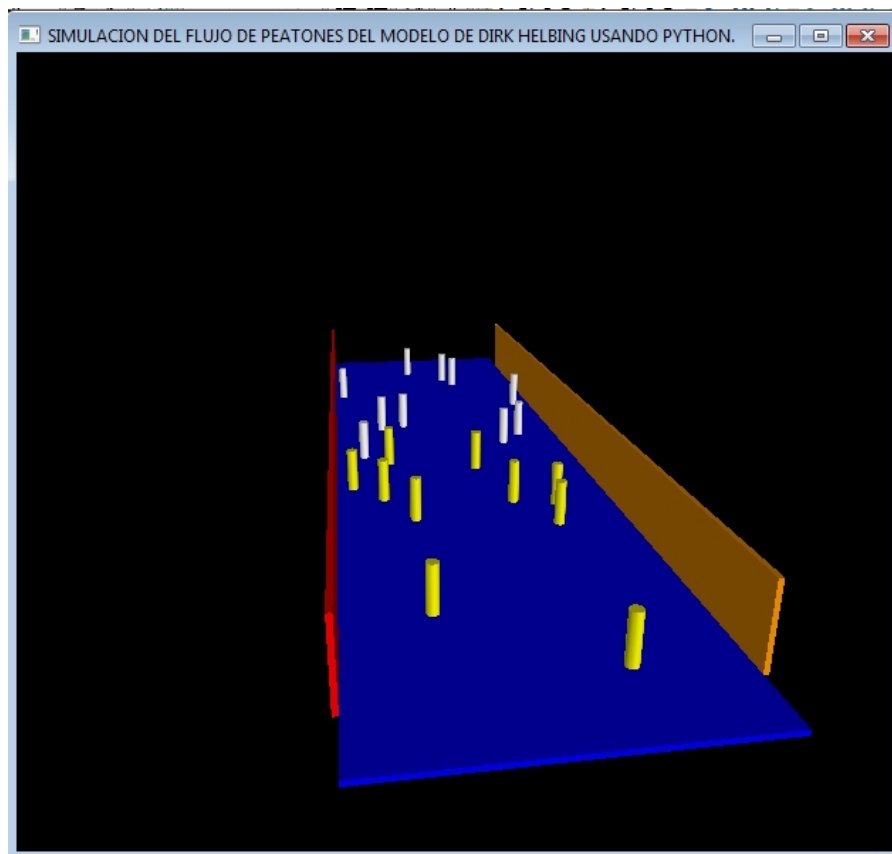


Figura 4.2: Ventana de ejecución: Distribución de los peatones en el corredor.

Con la siguiente estructura de código:

```
#####CREACION DE LOS PEATONES#####  
  
no_peatonos = 10  
  
lista_peatonos_a=[]  
  
for i in arange(no_peatonos):  
  
    pos_inicial = vector (random.uniform(-side +.125, side -.12) , -  
.1,random.uniform(-largo/2, 0) )  
  
    vel_inicial = vector (.005, 0, .005)  
  
    vel_des = vector (1.2, 0, 1.2)  
  
    ac1 = vector(.05, 0, .05)  
  
    peaton = cylinder (vd = vel_des, vel = vel_inicial, ac = ac1 ,pos = pos_inicial,  
color = color.white, axis = (0,1.2,0),radius = 0.15)  
  
    lista_peatonos_a.append(peaton)  
  
lista_peatonos_b=[]  
  
for j in arange(no_peatonos):  
  
    pos_inicial_2 = vector (random.uniform(-side +.125, side -.12) , -.1,  
random.uniform(0, largo/2) )  
  
    vel_inicial_2 = vector (-.005, 0, -.005)  
  
    vel_des_2 = vector (-1.2, 0, -1.2)  
  
    ac2 = vector(.05, 0, .05)  
  
    peaton = cylinder (vd = vel_des_2, vel = vel_inicial_2, ac = ac2 ,pos =  
pos_inicial_2, color = color.yellow, axis = (0,1.2,0),radius = 0.15)  
  
    lista_peatonos_b.append(peaton)  
  
#####
```

Una vez creados nuestro escenario y los peatones, podemos establecer una de nuestras primeras formulas del modelo de fuerza social: el caminado libre, mismo que nos indica que si unos peatones no perciben algún tipo de obstáculo como una pared, otro peatón en contraflujo que impida su camino, este realizara un movimiento balístico o rectilíneo tantas veces lo tenga que hacer. Dentro del código y las referencias del capítulo anterior, tenemos ya la formula discreta con la cual podemos escribir nuestro algoritmo y ejecutar esta fuerza. El resultado es el siguiente:

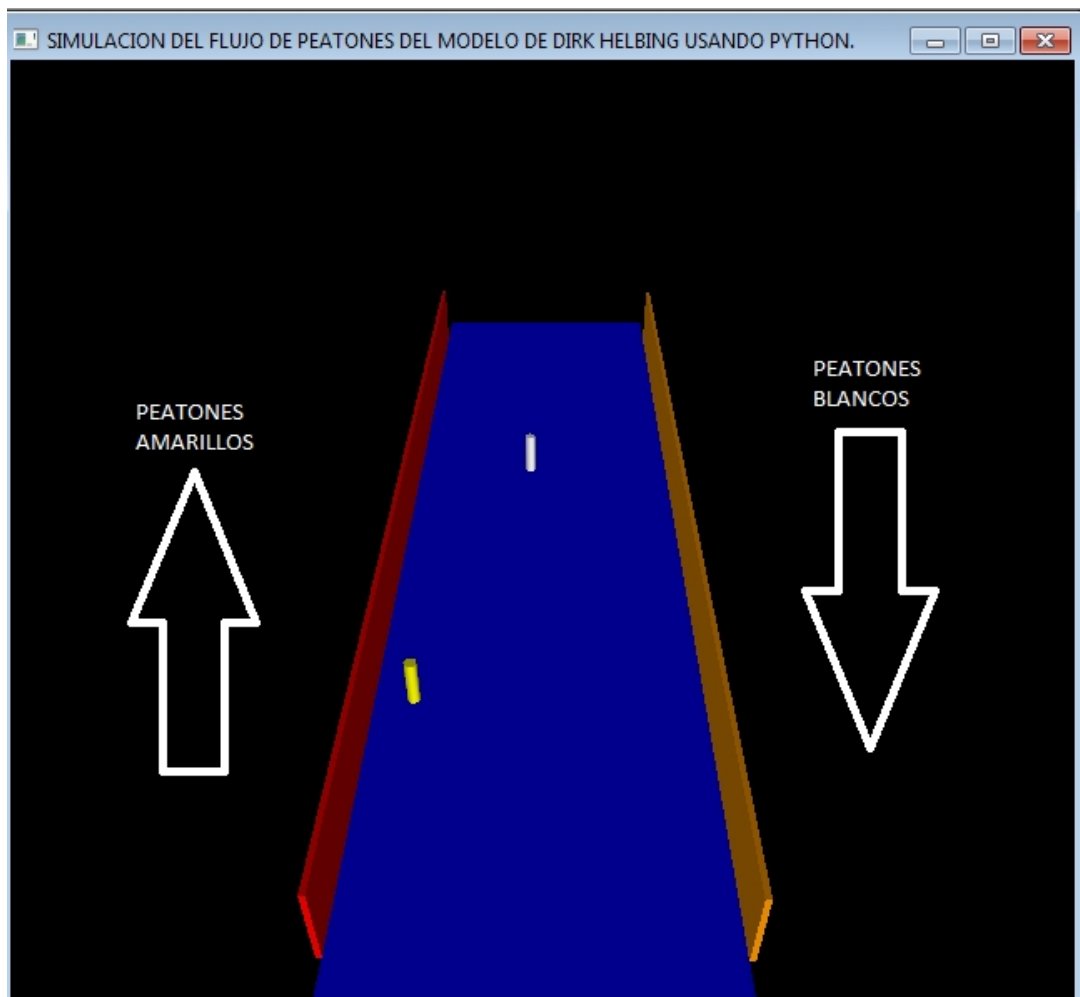


Figura 4.3: Ventana de ejecución: Caminado balístico.

En las siguientes líneas de código:

```
dt = vector( 0.05,0., 0.05)
```

```
t=1
```

```
aleatory=vector(random.uniform(-0.00125, 0.00125) , 0, random.uniform(-0.00125, 0.00125) )
```

```
#####APLICACION DE LA PRIMERA FUERZA: CAMINADO LIBRE  
PARA LOS PEATONES A Y B#####
```

```
while True:
```

```
    rate(3)
```

```
    for peaton in lista_peatones_a:
```

```
        peaton.vel = peaton.vel + (aleatory+(peaton.vd - peaton.vel)/t*dt.x)
```

```
        peaton.pos = peaton.pos + peaton.vel*dt.x
```

```
        if not (thk*side -(0.9 + peaton.radius) > peaton.x > -side + (peaton.radius)):
```

```
            peaton.vel.x = -peaton.vel.x
```

```
        if not (largo/2. -(0.9 + peaton.radius) > peaton.z):
```

```
            peaton.pos.z = -largo/2 + 0.9
```

```
    for peaton in lista_peatones_b:
```

```
        peaton.vel = peaton.vel + (peaton.vd - peaton.vel)*dt.x
```

```
        peaton.pos = peaton.pos + peaton.vel*dt.x
```

```
        if not (side -(0.2 + peaton.radius) > peaton.x > thk*-side + (0.15 + peaton.radius)):
```

```
peaton.vel.x = -peaton.vel.x
```

```
if not (peaton.z > -largo/2 + (.1 + peaton.radius)):
```

```
    peaton.pos.z = largo/2 + 0.9
```

```
#####
```

Por último, nuestro programa se compone de una parte esencial de este modelo, ya que no debe existir choques entre los peatones que caminan dentro de este corredor, por lo tanto existe ya una interacción entre los peatones ya creados, por consiguiente, bajo las condiciones que se dieron al inicio, estos buscan la forma de seguir y llegar a su destino evadiendo obstáculos u otros peatones que caminen en contraflujo. A este tipo de caminado se le conoce como fuerza de caminado con otros, de misma forma ya extendido y explicado en el capítulo anterior. El resultado es el siguiente:

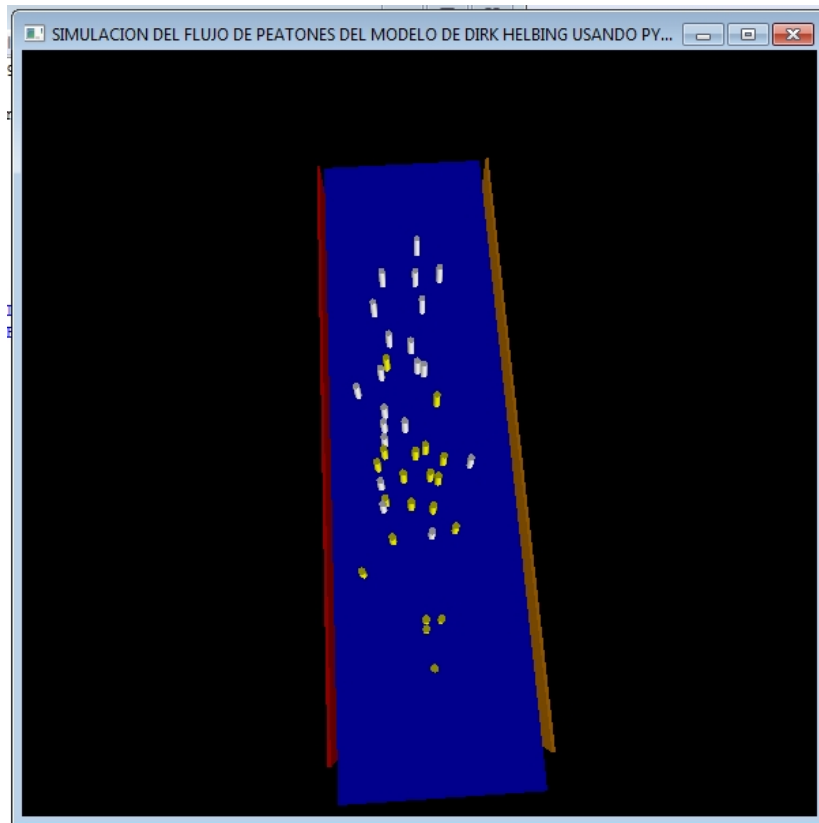


Figura 4.4: Ventana de ejecución: Caminado con otros.

Con la siguiente estructura de código:

#####APLICACION DE LA SEGUNDA FUERZA: CAMINADO CON OTROS ENTRE A Y B#####

for i in range(1, no_peatonos):

for j in range(1,no_peatonos):

distance=mag(lista_peatonos_a[i].pos-lista_peatonos_b[j].pos)

dist_papbx=(lista_peatonos_a[i].pos-lista_peatonos_b[j].pos)

dist_papb=norm(lista_peatonos_a[i].pos-lista_peatonos_b[j].pos)

a = .5

b = .5

#FORMULA DE LA SEGUNDA FUERZA: ACELERACION CON OTROS

acelothers=-a*dist_papb*e(((mag(dist_papbx)/-b))+aleatory**

#VELOCIDAD

lista_peatonos_a[i].vel=lista_peatonos_a[i].vel+(acelothers*dt.x)

lista_peatonos_b[j].vel=lista_peatonos_b[j].vel+(acelothers*dt.x)

#AJUSTE DE POSICION

lista_peatonos_a[i].pos=lista_peatonos_a[i].pos+lista_peatonos_a[i].vel*dt.x

```
lista_peaton_b[j].pos=lista_peaton_b[j].pos+lista_peaton_b[j].vel*dt.x
```

```
#####
```

```
#####APLICACION DE LA SEGUNDA FUERZA: CAMINADO CON  
OTROS ENTRE A Y A#####
```

```
for i in range(1, no_peaton):
```

```
    for j in range(i+1, no_peaton):
```

```
        distance=mag(lista_peaton_a[i].pos-lista_peaton_a[j].pos)
```

```
        dist_papbx=(lista_peaton_a[i].pos-lista_peaton_a[j].pos)
```

```
        dist_papb=norm(lista_peaton_a[i].pos-lista_peaton_a[j].pos)
```

```
        a = .5
```

```
        b = .5
```

```
#####FORMULA DE LA SEGUNDA FUERZA: ACELETACION CON  
OTROS
```

```
        aceloths=-a*dist_papb*e**((mag(dist_papbx)/-b))+aleatory
```

```
#####VELOCIDAD
```

```
        lista_peaton_a[i].vel=lista_peaton_a[i].vel+(aceloths*dt.x)
```

```
        lista_peaton_a[j].vel=lista_peaton_a[j].vel+(aceloths*dt.x)
```

#AJUSTE DE LA POSICION

lista_peatonos_a[i].pos=lista_peatonos_a[i].pos+lista_peatonos_a[i].vel*dt.x

lista_peatonos_a[j].pos=lista_peatonos_a[j].pos+lista_peatonos_a[j].vel*dt.x

#####

#####APLICACION DE LA SEGUNDA FUERZA: CAMINADO CON OTROS ENTRE B Y B#####

for i in range(1, no_peatonos):

for j in range(i+1,no_peatonos):

dist_papbx=(lista_peatonos_b[i].pos-lista_peatonos_b[j].pos)

dist_papb=norm(lista_peatonos_b[i].pos-lista_peatonos_b[j].pos)

a = .5

b = .5

#FORMULA DE LA SEGUNDA FUERZA: ACELERACION CON OTROS

acelothers=-a*dist_papb*e((mag(dist_papbx)/-b))+aleatory**

#VELOCIDAD

lista_peatonos_b[i].vel=lista_peatonos_b[i].vel+(acelothers*dt.x)

lista_peatonos_b[j].vel=lista_peatonos_b[j].vel+(acelothers*dt.x)

#AJUSTE DE LA POSICION

lista_peatones_b[i].pos=lista_peatones_b[i].pos+lista_peatones_b[i].vel*dt.x

lista_peatones_b[j].pos=lista_peatones_b[j].pos+lista_peatones_b[j].vel*dt.x

#####

Llegados a esta punto, es posible simular el modelo de fuerza social, ya que la estructura de este programa ejecuta primero el caminado libre, seguido del caminado con otros aplicado a una simulación en 3D pero con la condición de que trabaja solo con dos componentes, que en este caso es el componente “x” y la componente “z”.

Capitulo 5

RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

En el presente trabajo de tesis se realiza una simulación del flujo de peatones en un corredor aplicando el modelo de fuerza social de Dirk Helbing. Un conjunto de peatones que efectúan tanto el modo del caminado libre como el caminado con otros se considera dentro de un programa de simulación implementado en Python, software libre, mismo que nos ayuda a realizar una simulación de este tipo de fenómenos.

Se ha podido observar que, como resultado de la simulación, cada peatón efectúa los movimientos antes descritos por el modelo de fuerza social, ya que es un modelo totalmente matemático. Podemos esperar que de acuerdo a la ejecución es como realiza cada uno de los pasos esto es debido a que no existen reglas formales que anticipen el comportamiento de cada peatón.

En el caminado libre solo podemos decir que mientras no perciba ningún tipo de obstáculo nuestros peatones realizarán un caminado uniforme, de forma

balística, y para darle un toque real, a la fórmula de la fuerza social del caminado libre se le ha sumado un pequeño vector de valor aleatorio en un cierto rango, para darle un toque cercano a la vida cotidiana en su caminado y no se parezca a un movimiento tan mecanizado o robótico por parte de los peatones.

Con respecto a la segundo modo de caminado, caminado con otros, esta fórmula actúa sobre los peatones haciendo que ellos evadan a cada uno de los peatones, sea los peatones que se encuentran en contraflujo del corredor así como sus respectivos acompañantes que existan dentro de cada grupo de peatones. Realizando tres comparaciones en tres bloques diferentes para que cada uno de ellos se mueva según le indique la fórmula.

En un conjunto de pruebas con este proyecto, el simulador del flujo de peatones del modelo de Helbing, ha medido el máximo alcance y las limitaciones que se tiene en este programa, apreciando con detalle en un juego con el número de peatones y observar los principales fenómenos de este modelo: el caminado libre y el caminado con otros.

Una primera prueba con el simulador fue a partir de 5 peatones, podemos observar con claridad un ejemplo de caminado libre como ya se ha explicado anteriormente, así como de pequeñas evasiones entre un contraflujo sumamente moderado.

A partir de una prueba hecha con una cantidad de peatones que varía desde 10 hasta 30 peatones por ejecución, el fenómeno se repite de acuerdo a lo que nos indica cada fórmula de este modelo, teniendo en cuenta que, como comportamiento general entre estas pruebas, estos genera un tipo de veredas en las cuales pueden optimizar y manejar su caminado como se suele ver en la vida cotidiana, cumpliendo hasta este punto con el caminado libre en caso de existir y el caminado con otros para evitar choques y colisiones tanto con otros peatones así como con las paredes del escenario que conforma dichas simulaciones.

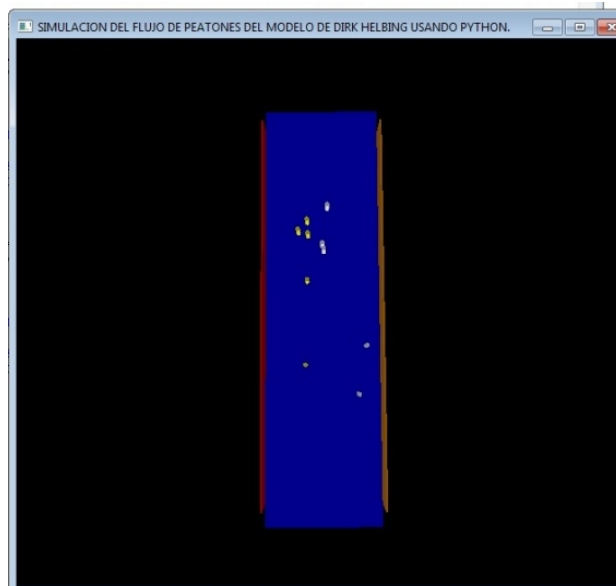


Figura 5.1: Ventana de ejecución: Prueba con 5 peatones.

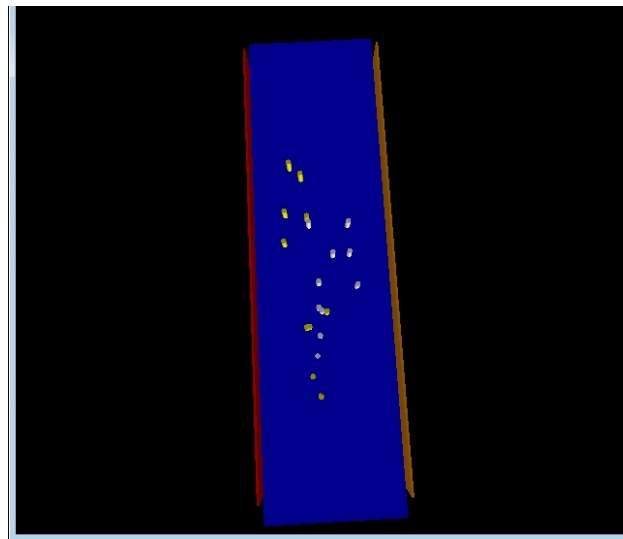


Figura 5.2: Ventana de ejecución: Prueba con 10 peatones.

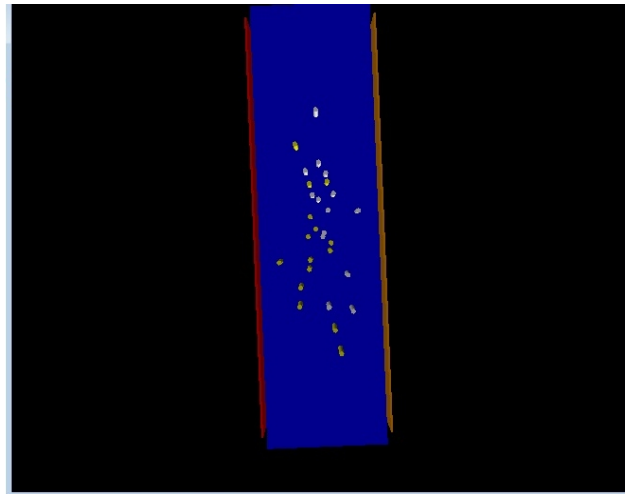


Figura 5.3: Ventana de ejecución: Prueba con 15 peatones.

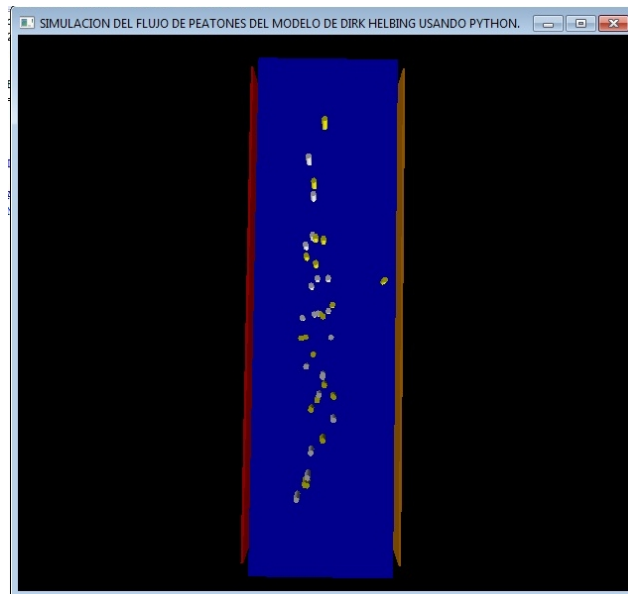


Figura 5.4: Ventana de ejecución: Prueba con 20 peatones.

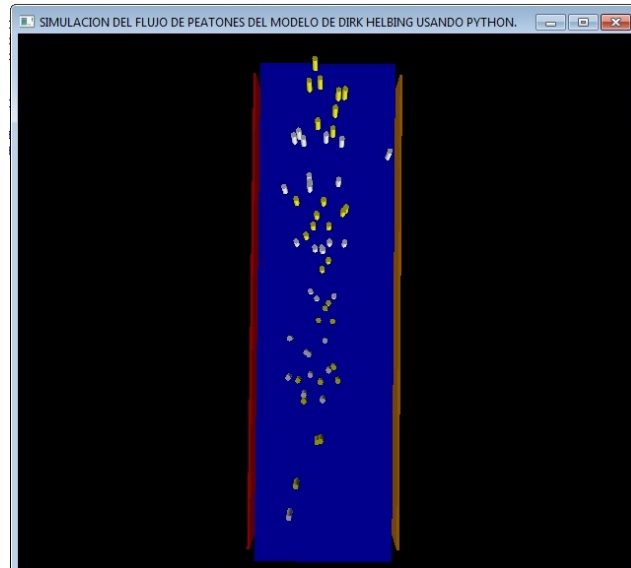


Figura 5.5: Ventana de ejecución: Prueba con 30 peatones.

En cuanto el número de peatones crece dentro de nuestro escenario, es posible percibir que la tendencia del caminado de los peatones adquiere una similitud con el caminado de la vida diaria debido a que, en un principio se dio por hecho que estos fenómenos suelen ser irregulares o aleatorios, dándole un mayor realismo a nuestro simulador y con tal demostración, podemos corroborar que a partir de un modelo matemático se puede aproximar a este tipo de situaciones que a diario surgen dentro del entorno en el que nos movemos. Una pequeña limitación que existe es que en cuanto el número de peatones es mayor a 50, el escenario se ve saturado y en esencia, nuestro caminado se ve afectado ya que dicho pasillo es relativamente estrecho y por lo tanto no puede contener una cantidad como la ya

mencionada, y por lo tanto el pasillo se debe de ampliar para que esto no altere las condiciones ya mencionadas del fenómeno de caminado.

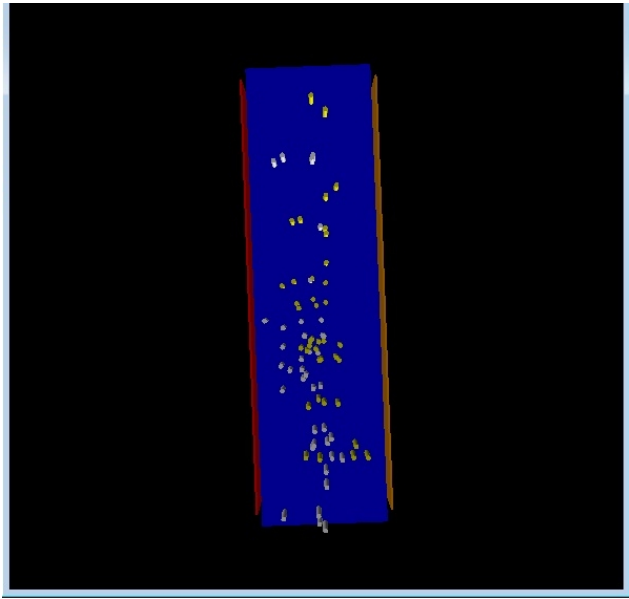


Figura 5.5: Ventana de ejecución: Prueba con 40 peatones.

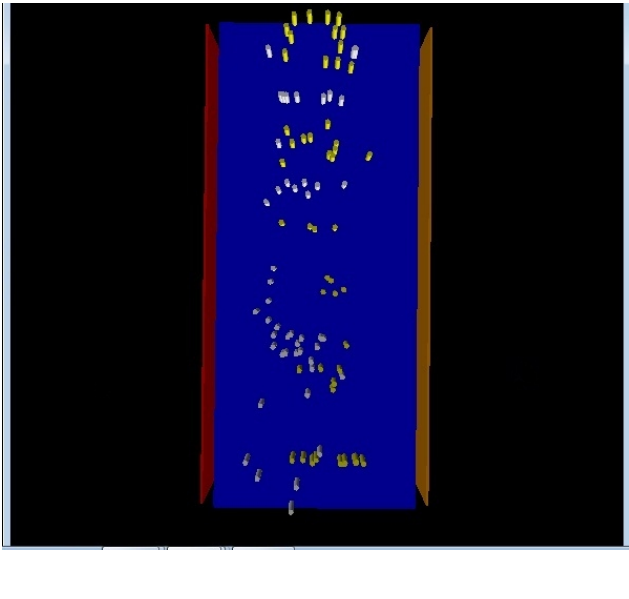


Figura 5.5: Ventana de ejecución: Prueba con 50 peatones.

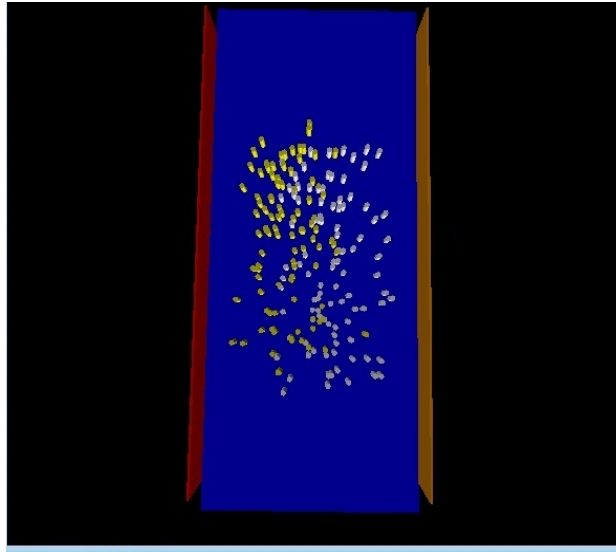


Figura 5.5: Ventana de ejecución: Prueba con 100 peatones.

Este trabajo de tesis puede aportar las siguientes tareas:

- Un modelo de referencia para el estudio de otros modelos que parten del mismo principio por el cual trabaja el modelo de Dirk Helbing, tanto el caminado libre así como el caminado con otros.
- Un trabajo en el cual se pueda realizar una aproximación con respecto al comportamiento que existen con ciertos fenómenos naturales que nos rodean en nuestro entorno.
- Un modelo de apoyo para otras áreas, ya que principalmente este tipo de trabajos ayuda para la planeación de obras y entornos del tránsito y flujo

peatonal, aplicado y modifica de acuerdo a lo que se quiera representar y simular.

- El desarrollo de este mismo modelo para estudios más profundos, ya que mediante modelos matemáticos es posible simular el comportamiento general de los peatones en entornos específicos.

Por último, en este trabajo de tesis se puede concluir que el movimiento peatonal, que describe un movimiento aleatorio, impredecible o totalmente irregular es posible de simular a partir del modelo de Dirk Helbing.

Anexos.

Conceptos básicos de Física.

Antes de iniciar con la formulación de este modelo, es necesario tener presentes ciertos conceptos que proporcionan una idea más amplia de lo que habla este tema, ya que algunos de estos términos se ajustan a cada uno de los pasos que conforman este tratado.

El cuerpo es todo aquello que tiene masa, o sea la cantidad de materia que posee un cuerpo. El volumen, que lo definimos como la cantidad de espacio que ocupa una sustancia medida en tres unidades de longitud o en una unidad de longitud elevada al cubo y si le añadimos peso, que es la fuerza de atracción que la Tierra ejerce sobre los cuerpos y es igual al producto de la masa por la aceleración debida a la gravedad, tendremos que: $W = mg$, donde $g = 9.81m/seg^2$, y aún cuando no es la misma en todos los lugares sobre la superficie de la Tierra, representa un promedio. Esto nos permite aclarar que una misma masa puede tener diferente peso en cualquier polo que en el Ecuador, o sea que la masa se conserva mientras el peso puede variar.

En física, la **fuerza** es una magnitud física que mide la intensidad del intercambio de momento lineal entre dos partículas o sistemas de partículas (en lenguaje de la física de partículas se habla de interacción). Según una definición clásica, **fuerza** es todo agente capaz de modificar la cantidad de movimiento o la forma de los cuerpos materiales. No debe confundirse con los conceptos de esfuerzo o de energía.

La fuerza es una magnitud física de carácter vectorial capaz de deformar los cuerpos (efecto estático), modificar su velocidad o vencer su inercia y ponerlos en movimiento si estaban inmóviles (efecto dinámico). En este sentido la fuerza puede definirse como toda acción o influencia capaz de modificar el estado de movimiento o de reposo de un cuerpo (imprimiéndole una aceleración que modifica el módulo o la dirección de su velocidad) o bien de deformarlo.

Comúnmente nos referimos a la fuerza aplicada sobre un objeto sin tener en cuenta al otro objeto u objetos con los que está interactuando y que experimentarán, a su vez, otras fuerzas. Actualmente, cabe definir la fuerza como un ente físico-matemático, de carácter vectorial, asociado con la interacción del cuerpo con otros cuerpos que constituyen su entorno.

La Cinemática (del griego *κίνησις*, *kineo*, movimiento) es la rama de la mecánica clásica que estudia las leyes del movimiento de los cuerpos sin tener en cuenta las causas que lo producen, limitándose, esencialmente, al estudio de la trayectoria en función del tiempo.

En la Cinemática se utiliza un sistema de coordenadas para describir las trayectorias, denominado sistema de referencia. La velocidad es el ritmo con que cambia la posición un cuerpo en determinado lapso de tiempo. La aceleración es el ritmo con que cambia su velocidad. La velocidad y la aceleración son las dos principales cantidades que describen cómo cambia su posición en función del tiempo.

Conceptos básicos de Python.

Python es un lenguaje de programación fácil de aprender y potente. Tiene eficaces estructuras de datos de alto nivel y una solución de programación orientada a objetos simple pero eficaz. La elegante sintaxis de Python, su gestión

de tipos dinámica y su naturaleza interpretada hacen de él el lenguaje ideal para guiones (scripts) y desarrollo rápido de aplicaciones, en muchas áreas y en la mayoría de las plataformas^{[11][13]}.

El intérprete de Python y la extensa biblioteca estándar están disponible libremente, en forma de fuentes o ejecutables, para las plataformas más importantes en la sede web de Python, <http://www.python.org>, y se pueden distribuir libremente. La misma sede contiene también distribuciones y direcciones de muchos módulos, programas y herramientas Python de terceras partes, además de documentación adicional.

Es fácil ampliar el intérprete Python con nuevas funciones y tipos de datos implementados en C y C++ (u otros lenguajes a los que se pueda acceder desde C). Python es también adecuado como lenguaje de extensión para aplicaciones adaptables al usuario. Esta guía presenta informalmente al lector los conceptos y características básicos del lenguaje y sistema Python. Es conveniente tener a mano un intérprete para hacer experimentos, como todos los ejemplos son fáciles de entender, la guía se puede leer sin estar conectado.

La visualización y creación de escenas dinámicas tridimensionales (y no solo el ploteo de funciones) pueden tener un gran valor didáctico en muchos aspectos de la física básica como la dinámica del sólido rígido, la dinámica de fluidos o el electromagnetismo.

De igual forma, para el desarrollo de este modelo, se prefirió el uso de este lenguaje, al mismo tiempo que se trata de software libre, este también puede estar para el acceso y uso libre de todos aquellos que deseen utilizarlo para el desarrollo de nuevos proyectos a partir del modelo de Helbing.

Python es un lenguaje interpretado, por lo que nos brinda la posibilidad de trabajar en sesiones interactivas utilizándolo como una calculadora programable. No obstante, lo cómodo normalmente será escribir en archivos con cadenas de comandos (scripts) y pedir al sistema que los interprete todos de golpe.

Para programar necesitaremos el interprete de Python y un editor de texto. Como edito podríamos utilizar cualquiera capaz de leer y escribir en texto plano, como el notepad de Windows o IDLE, que es el que viene incluido con la distribución de Python, está especialmente pensado para el tipo de tareas que vamos a realizar y nos ayudará en determinadas ocasiones. Por ejemplo, cuando queramos ejecutar el archivo en el que estamos trabajando solo tendremos que pulsar F5. Cuando ejecutemos IDLE, tendremos una ventana con la consola interactiva de Python en la que podríamos hacer, por ejemplo, una cuenta simple.

VPython es un módulo sobre Python. Consta de una serie de subrutinas que permiten construir y visualizar en tiempo real algunos objetos geométricos sencillos. Python (y por consiguiente VPython) es un lenguaje interpretado. Un programa en Python es un documento de texto que se ejecuta con Python. Para escribir ese programa se puede usar cualquier editor de textos. Normalmente se le pone extensión .py aunque no es necesario.

VPython incorpora un editor llamado IDLE que tiene algunas ventajas. Una de ellas es que lleva incorporadas opciones tales como indexar o desindexar un párrafo, convertir un párrafo en líneas de comentario, etc. que son útiles a la hora de programar. Además, desde el mismo IDLE puede ejecutarse el programa.

Para ejecutar un programa en VPython tenemos tres posibilidades:

1.- Abrir IDLE y en él se carga el programa. Para ejecutarlo se pulsa F5.

2.- Si el programa lleva la extensión .py, con el botón derecho permite abrirlo directamente con IDLE.

3.- Si la extensión es .py al pulsar dos veces sobre el programa se ejecuta directamente.

Hay algunas diferencias entre estas tres formas. La diferencia principal entre las dos primeras y la tercera es el entorno. Si abres IDLE y cargas un programa, al ejecutarlo se abren automáticamente dos ventanas, una de gráficos y un shell. Este shell permite ver los mensajes de error o introducir datos que te pida el programa. Si usamos la tercera opción y pedimos directamente el programa, aparece una ventana del DOS que cumple el papel del shell pero con una diferencia importante: si hay un error se cierra automáticamente, con lo que no llegas a verlo.

La diferencia entre las dos primeras formas de abrir un programa es la dependencia de IDLE:

- Si abres IDLE y cargas un programa, cuando lo cierres IDLE permanecerá abierto.
- Si lo haces al revés, IDLE se cierra automáticamente al cerrar el programa.

Una observación importante es IDLE siempre guarda el programa antes de ejecutarlo. Por tanto, si hacemos modificaciones de las que no estemos seguros, es conveniente grabarlo con otro nombre antes de ejecutarlo.

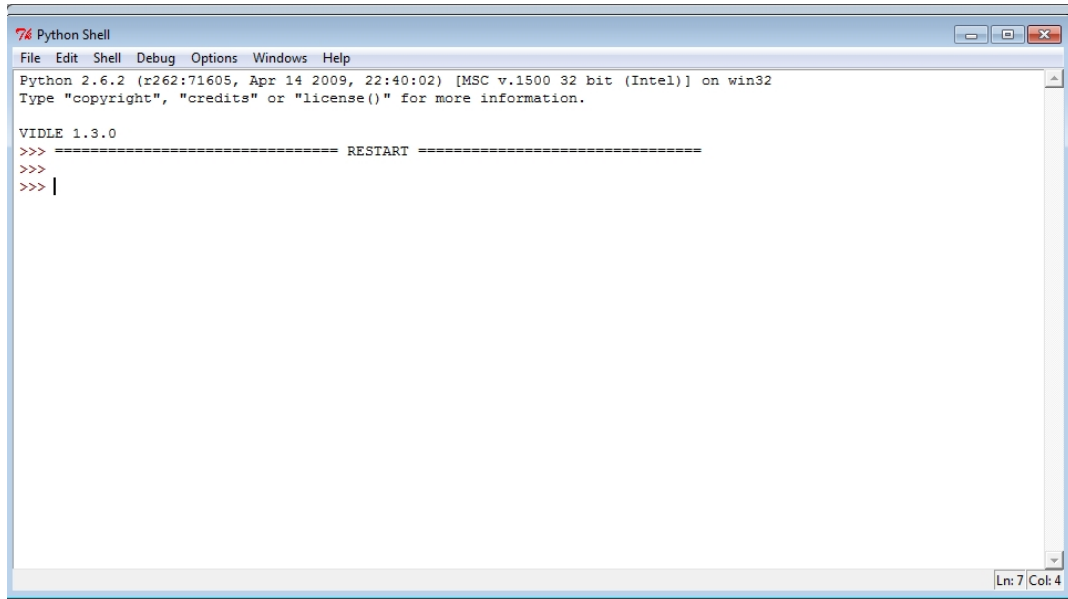


Figura 4.0: Ventana interactiva de VIDLE

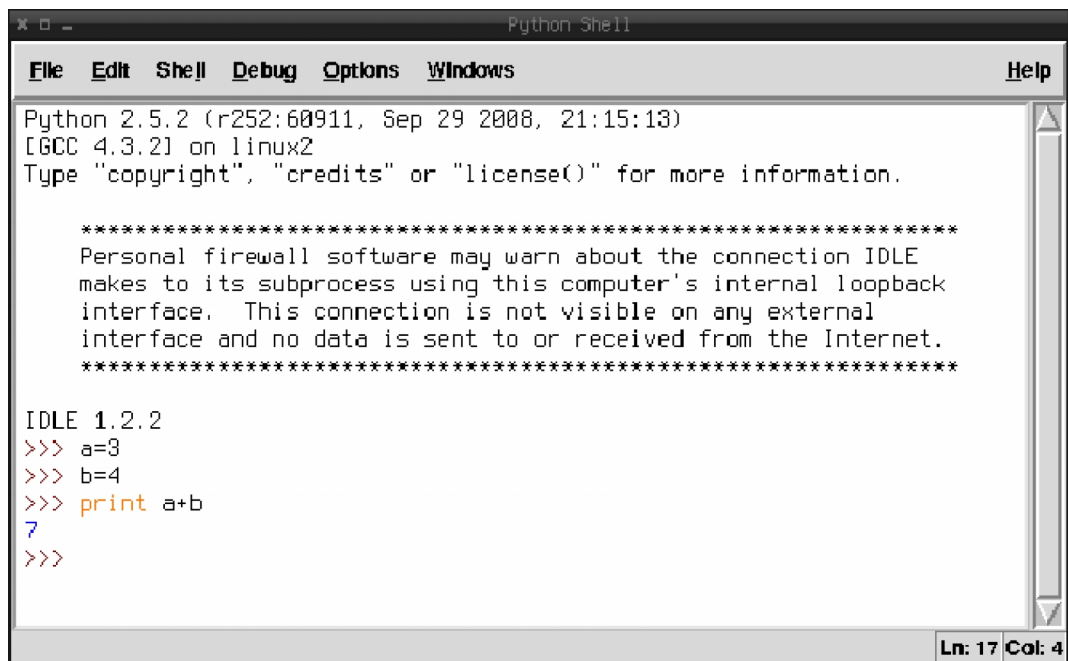
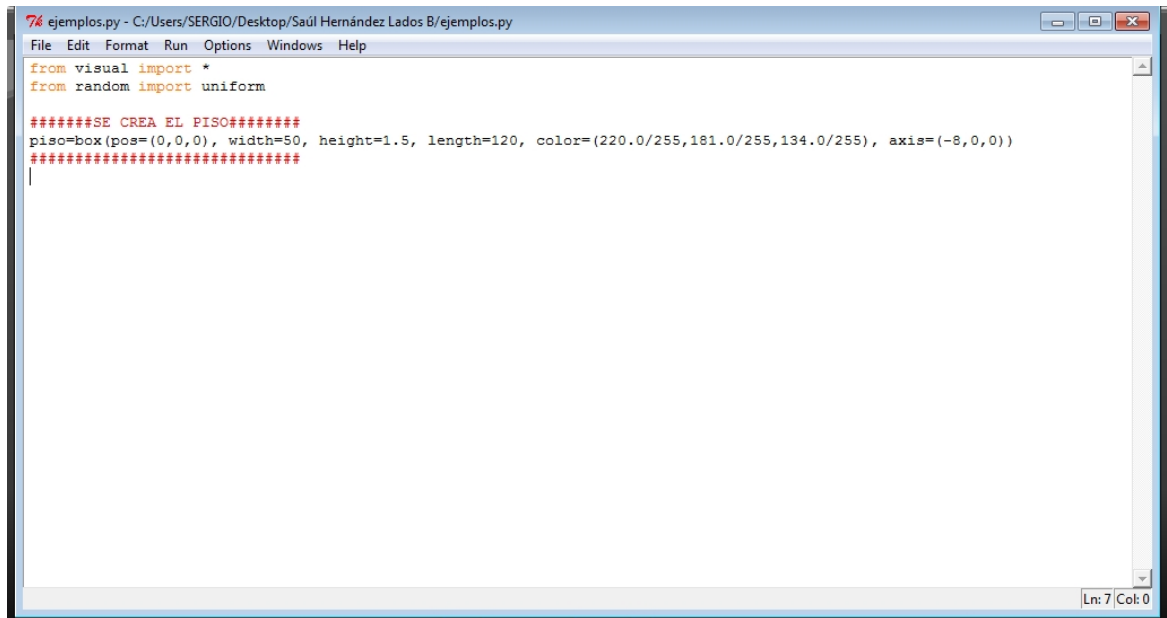


Figura 4.1: Ventana interactiva de IDLE



```
7% ejemplos.py - C:/Users/SERGIO/Desktop/Saúl Hernández Lados B/ejemplos.py
File Edit Format Run Options Windows Help
from visual import *
from random import uniform

#####SE CREA EL PISO#####
piso=box(pos=(0,0,0), width=50, height=1.5, length=120, color=(220.0/255,181.0/255,134.0/255), axis=(-8,0,0))
#####
|
```

Figura 4.2: Ventana interactiva de VIDLE, para programar.

En cuanto a Visual Python, serán un módulo que debemos cargar en Python y nos permitirá dibujar sobre la marcha escenas tridimensionales.

Vemos que el lenguaje es bastante intuitivo. Definiremos las coordenadas con vectores en los que la coordenada x es la horizontal, la y la vertical y la z la perpendicular a la pantalla.

Referencias

- [1] Resnick M. Turtles, termites and traffic jams. Explorations in massively parallel microworlds (no p.97)(MIT, 1994)(T)(ISBN 0262181622)(170s)
- [2] Dirk Helbing. A mathematical model for the behavior of pedestrians. Behavioral Sciences, pages 298-310, 1991.
- [3] Dirk Helbing and Peter Molnár. Social force model for pedestrian dynamics. Phys. Rev. E, 51(5):4282-4286, May. 1995.
- [4] Bin Jiang, SimPed: Simulating Pedestrian Flows in a Virtual Urban Environment, http://publish.uwo.ca/~jmalczew/gida_5/.
- [5] Living Earth Simulator: Husmeando el futuro, <http://www.neoteo.com/living-earth-simulator-husmeando-el-futuro>.
- [6] Cooperación, castigo e hipocresía, <http://neofronteras.com/?p=3120>.
- [7] Tráfico en la ciudad, ahora visto con otros ojos, <http://insicientia.wordpress.com/2010/09/21/trafico-en-la-ciudad-ahora-visto-con-otros-ojos/>.
- [8] ¿Cómo evitar el pánico?, <http://psicologyclinic.blogspot.com/2010/07/como-evitar-el-panico.html>.
- [9] Marsden, J. E.; Troba, A. J., CÁLCULO VECTORIAL Quinta Edición, Pearson Education, S.A, Madrid, 2004.
- [10] Anton, Howard, INTRODUCCIÓN AL ALGEBRA LINEAL Tercera Edición, Limusa, México, 2002.

-
- [11] García Corzo, Pablo M., PROYECTO PHYSTONES,
<http://alqua.org/documents/physthones>
- [12] Ballinas Hernández, Ana Luisa, MODELO CINÉTICO DE
PEATONES BASADO EN AGENTES SITUADOS, Tesis de Maestría,
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 2010.
- [13] Sherer, David, THE VISUAL MODULE OF VPHYTON,
www.developezz.com, 2009.
- [14] Gradas García, Xochitl Laura, SIMULACIÓN DE FORMACIÓN
DE PEATONES 2D DE CONGLOMERADOS EN CRUCES
PEATONALES, Tesis de Maestría, Benemérita Universidad Autónoma de
Puebla, 2011.
- [15] Rojas, F. J.; Rangel, A.; Torres, I., FISICA COMPUTACIONAL:
UNA PROPUESTA EDUCATIVA, REVISTA MEXICANA DE FISICA
E **55** (1) 97–111, 2009.