

## Extensiones a Metrópolis para una Emergencia Fuerte

Jose Aguilar<sup>1,2</sup>, Junior Altamiranda<sup>1</sup>, Danilo Chavez<sup>2</sup>  
aguilar@ula.ve, altamira@ula.ve, danilo.chavez@epn.edu.ec

<sup>1</sup> CEMISID, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela

<sup>2</sup> Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

**Resumen:** Este trabajo estudia las características y tipos de comportamiento que se pueden ver en los juegos emergentes, y a partir de esto propone una extensión a Metrópolis. Metrópolis es un juego que permite la construcción de una ciudad, a través de un proceso de toma de decisiones colectivas de los habitantes de la ciudad, sobre los tipos de edificios a construir y ubicaciones de los mismos. En particular, el objetivo de este artículo es estudiar los tipos de emergencia fuerte en Metrópolis, y definir los mecanismos que le permiten adaptarse a las características de sus jugadores, en base a una emergencia fuerte. Esto se hace, manteniendo las capacidades de emergencia débil originales de Metrópolis, que permiten la aparición de patrones urbanos. Una emergencia fuerte, permite la auto-modificación del juego para adaptarse a sus jugadores, mientras que una emergencia débil simplemente muestra la construcción de patrones urbanísticos que surge de la ciudad, derivado de las decisiones colectivas de los jugadores. Particularmente, en este artículo se propone un mecanismo de emergencia fuerte para Metrópolis basado en el aprendizaje de los umbrales de toma de decisión de él. Los resultados sobre la adaptación del juego a los jugadores, derivados de la emergencia fuerte, son muy alentadores.

**Palabras Clave:** Juegos Emergentes; Emergencia Computacional; Máquinas Inteligentes; Juegos de Ciudades; Sistemas Adaptativos.

**Abstract:** This work studies the characteristics and types of behavior that can be seen in emerging games, and from this proposes an extension to Metropolis. Metropolis is a game that allows the construction of a city, through a process of collective decision making of the inhabitants of the city, about the types of buildings to be built and their locations. In particular, the objective of this article is to study the types of strong emergencies in Metropolis, and define the mechanisms that allow it to adapt to the characteristics of its players, based on a strong emergency. This is done, maintaining the original weak emergency capacities of Metropolis, which allow the emergence of urban patterns. A strong emergency allows for self-modification of the game to suit its players, while a weak emergency simply shows the construction of urban patterns arising from the city, derived from the collective decisions of players. In particular, in this article we propose a strong emergency mechanism for Metropolis based on learning the decision-making thresholds of it. The results on the adaptation of the game to the players, derived from the strong emergence, are very encouraging.

**Keywords:** Emerging Games; Computational Emergency; Intelligent Machines; City Games; Adaptive Systems.

### I. INTRODUCCIÓN

Los recientes avances en inteligencia artificial son fundamentales para el diseño de videojuegos. En particular, el concepto de juego emergente marca el comienzo de una nueva era en los videojuegos [1][2][3]: la capacidad de los juegos para adaptarse al jugador, aunque el hilo central del juego no se vea alterado. En general, la emergencia puede ser definida como un “Comportamiento de un sistema, que emerge de las interacciones entre sus componentes, difíciles o imposibles de predecir” [4].

Existen varios tipos de emergencia [4][5], la débil solamente analiza lo que surge del proceso, mientras que la fuerte estudia los elementos que conllevan a la emergencia. Es decir, la emergencia débil se refiere solamente a observar en el sistema bajo estudio como emergen comportamiento y patrones

colectivos (por ejemplo, urbanísticos), derivados de las decisiones locales de sus componentes. Por otro lado, la emergencia fuerte analiza esos comportamientos que emergen, para incluir un proceso de retroalimentación (aprendizaje) en el sistema, que le permita irse adaptando a su contexto.

En los juegos emergentes, la emergencia se basa en la creación dinámica de un mundo, derivado de las acciones del jugador, generando comportamientos en el juego basado en lo que está sucediendo en él. Ambos tipo de emergencia se pueden dar en un juego.

En trabajos anteriores se ha propuesto un juego, llamado Metrópolis, donde patrones urbanísticos en la ciudad emergen de las decisiones que sus habitantes toman [6]. El objetivo de Metrópolis es permitir la auto-gestión de la ciudad, basada en reglas que gobiernan las interacciones entre los habitantes de la misma (los jugadores). De esa manera, Metrópolis parte de

la premisa que las ciudades son auto-gestionadas por decisiones tomadas en conjunto por sus habitantes (jugadores), sin que exista un habitante con un papel más importante, ni una autoridad local (alcalde, gobernador, entre otros.). El juego tiene como objetivo, planificar colectivamente el crecimiento de la ciudad, y en función de ese proceso, observar y medir las cualidades de la ciudad desarrollada, basada en las personalidades de sus habitantes.

Como ya se comentó, en la actual versión de *Metrópolis* emergen patrones urbanísticos en la ciudad, como resultado de la dinámica del juego [6]. Ese es un tipo de emergencia débil. En este artículo se extiende la noción de emergencia, introduciéndole mecanismos emergentes a la dinámica del juego, para que se adapte a sus jugadores. Para ello, inicialmente se analiza los posibles tipos de emergencia a introducir en *Metrópolis*. Basado en ello, en este trabajo se presenta una modificación al juego, que le permite a partir de ella, la *emergencia fuerte* de comportamientos.

Este artículo se organiza de la siguiente manera, en la siguiente sección se presentan el concepto de juego emergente y a *Metrópolis*, luego se analizan los posibles mecanismos emergentes para *Metrópolis* y se implementa uno en el juego, para culminar con el análisis de las capacidades adaptativas conferidas al mismo provista por dicho mecanismo emergente.

## II. ASPECTOS TEÓRICOS

### A. Juegos Emergentes

Emergencia [4]: “es lo que ocurre cuando un sistema compuesto por elementos relativamente simples, se organiza espontáneamente, y sin leyes explícitas, para dar lugar a un comportamiento inteligente”. Existen varios tipos de emergencia:

- En la *emergencia débil*, características sistémicas en el nivel “superior” no se pueden predecir, a pesar del conocimiento que se tenga de las características y leyes que rigen los componentes de ese sistema. Así, normalmente uno se limita a observar ese comportamiento que emerge. Por ejemplo, viendo a una ciudad (nivel superior) como un sistema emergente débil, solo se constatarían los patrones urbanísticos que emergen en ella.
- En la *emergencia fuerte*, fenómenos emergentes pueden obtener nuevas capacidades causales que hace posible que los sistemas puedan ejercer una influencia de arriba hacia abajo. Un sistema *fuertemente emergente* es aquel en el que los niveles superiores de complejidad poseen características genuinas, que están ausentes de las partes constitutivas, pero que los pueden enriquecer. Por ejemplo, viendo a una ciudad (nivel superior) como un sistema emergente fuerte, ella tiene propiedades específicas que configuran un proceso de retroalimentación que permitirán amplificar o disipar los patrones urbanísticos de la ciudad (por ejemplo, las migraciones de actividades económicas o sociales en zonas de una ciudad).

En particular, un juego emergente responde a las acciones del jugador, lo que añade una nueva dimensión al juego [2][3][7][8]. Esto es lo que hacen juegos como *SimCity*, *Lincity* y *Los Sims* [9][10][11].

Ahora bien, en la literatura existen varias definiciones de lo que es un juego emergente. Por ejemplo, en [7][8] indican que un juego emergente aparece cuando un conjunto relativamente simple de reglas conducen a estrategias de juego complejos. De manera complementaria, [4] indica que un juego emergente significa que el juego tiene su propia vida de acuerdo a lo que el jugador lleva a cabo, de manera que el juego puede responder a sus acciones, para construir una historia que siempre será esencialmente la misma, pero adaptada a las preferencias del jugador.

En general, un juego emergente requiere un alto nivel de interactividad. La creatividad humana para encontrar soluciones a los múltiples problemas en varios dominios, es lo que busca explotar los juegos emergentes. La idea de “emergencia” es lo opuesto a la “creación”, en el sentido de que si algo emerge se lleva a cabo por sí mismo, sin la ayuda de nadie [4][5]. La emergencia en los juegos es posible gracias a la definición de reglas simples globales sobre el comportamiento y la dinámica del mismo, a las propiedades dinámicas de los objetos del juego, así como a las interacciones entre el mundo del juego y el jugador. La emergencia en un juego permite que el mundo del juego se vuelva más interactivo y reactivo, creando una gama más amplia de posibilidades para las acciones, estrategias, etc. En general, las formas de emergencia en un juego se pueden expresar de diferentes maneras [6][7][8]:

- Por la aparición de nuevos comportamientos en el juego.
- Por la aparición de nuevas secuencias/escenarios, tramas o temáticas en los juegos.
- Por el surgimiento de nuevas propiedades en los objetos que los componen. Por ejemplo, en juegos como los *Sims*, los personajes que van apareciendo tienen sus propias personalidades.
- Por la aparición de patrones que reflejan los resultados finales de los juegos, derivados por las decisiones tomadas por los jugadores. Por ejemplo, en *Metrópolis* aparecen patrones urbanísticos.
- Por el surgimiento de modelos de negocios alrededor de los juegos. Por ejemplo, en algunos juegos aparece un sistema de comercio para comprar e intercambiar personajes, herramientas, entre otras cosas.

Todo lo anterior surge producto de un conjunto de reglas simples, de las propiedades dinámicas de los objetos del juego, de las decisiones de los jugadores, de las interacciones de los jugadores, entre otras. Los tres primeros tipos de apariciones del listado anterior se corresponden con la *emergencia fuerte*, y son los que explotaremos en este trabajo.

### B. *Metropolis*

*Metrópolis* es un Simulador de Ciudades Auto-gestionadas [6][12]. Se basa en la construcción de una ciudad, mediante la toma de decisiones colectiva de sus habitantes sobre las edificaciones a construir en la misma, haciendo uso de un presupuesto comunitario limitado. La toma de decisiones de cada jugador se basa en sus personalidades. De acuerdo a las decisiones tomadas colectivamente, tanto los índices de felicidad de la ciudad, como de cada jugador, se verán afectados.

En la literatura no existen juegos basados en la idea de Ciudades Auto-gestionadas del tipo propuesto en este trabajo. Los juegos anteriormente nombrados (como SimCity) son juegos enfocados en la creación y gestión de una ciudad, comportándose el jugador como un alcalde; a diferencia de Metrópolis, donde un grupo de jugadores (que representan los ciudadanos) gestionan autónoma y colectivamente la ciudad.

1) *Filosofía del Juego*: El juego busca beneficiar a cada jugador. Pero inspirado en el dilema del prisionero [13], la cooperación es crucial en el juego; permite el equilibrio entre los deseos de todos, lo cual lleva a la felicidad colectiva. Las ciudades son castigadas cuando las personas no cooperan, porque la felicidad de la ciudad será peor. Esto es así, ya que la felicidad de la ciudad es el promedio de la de sus habitantes.

El elemento fundamental del juego es la toma de decisiones colectiva, la cual se realiza en el consejo que gobierna la ciudad. En el consejo, cada jugador tiene la oportunidad de votar a favor o en contra de ciertos tipos de construcciones de edificios, utilizando el presupuesto de la ciudad. El consejo toma decisiones basándose en lo que cada jugador vota. La decisión será determinada por el voto de la mayoría. En el juego hay dos tipos de habitantes, uno en representación de cada jugador, otros generados al azar. Cuando alguien quiere construir en la ciudad, el proyecto se somete al voto popular en el consejo. Cada habitante tiene su propia personalidad, la cual es usada para determinar los tipos de construcción de más interés para él, tanto para construir como para votar en el consejo. La ciudad se va desarrollando a través de las decisiones colectivas sobre construir o no construir.

El juego tiene un sistema de puntuación, que se calcula cada año. La puntuación se basa en la felicidad de su población (la felicidad de todos los agentes afecta el índice de felicidad de la ciudad). Por otra parte, la felicidad de los jugadores

depende de las construcciones realizadas en la ciudad, y su relación con sus personalidades.

Cada ciudad cuenta con 10 habitantes, en los que al menos 5 de ellos son artificiales, con el fin de simular la parte de los ciudadanos que no pueden ser controlados por los jugadores. Estos habitantes son generados al azar, y toman decisiones de la misma manera que los otros habitantes. Los habitantes no-artificiales pueden tener personalidades creadas al azar, o predefinidas por los jugadores. Los jugadores pueden pedir construir el edificio que ellos quieran, en sus zonas preferidas. Las edificaciones posibles en una ciudad son en las siguientes áreas: salud, educación, medio ambiente, comercio, industria y tecnología.

2) *Caracterización de los Edificios*: Existen dos tipos de edificios, los edificios primarios pueden añadir o quitar puntos a los índices de felicidad de cada área de la ciudad (más adelante se definen), y los edificios secundarios añaden/quitan un porcentaje del valor de dichos índices. Una edificación primaria es la primera que se construye en un sitio dado, y las secundarias son las que se colocan a su alrededor. De esta manera, cada tipo de construcción tendrá un cierto efecto en el juego. La Tabla I muestra los detalles de cada tipo de construcción: el radio de cobertura de cada edificación, el costo de la construcción, su grupo, y la bonificación o penalización que aporta a los índices de felicidad de cada área de la ciudad.

Como se ha indicado anteriormente, cada edificio tiene un radio de acción (zona de cobertura), que por simplicidad es un diamante, cuya diagonal es dos veces el número dado en la Tabla I. Mientras dos edificios del mismo tipo (primarios/secundarios) no se intercepten, las edificaciones proveerán su puntuación total. Cuando hay una intercepción, la bonificación positiva disminuye un 50%, mientras que la negativa se mantendrá sin cambios.

**Tabla I:** Radios, Bonificaciones y Penalizaciones, para Cada Tipo de Construcción

Número	Tipo	Grupo	Radio	Bono	Penalización	Costo
0	Vacío	-	-	-	-	-
1	Árbol	-	-	+10Ambiente.	-	20
2	Casa	-	-	-	-	500
3	Calle	-	-	-	-	40
4	Institución de Salud	Primaria	7	+250 Salud	-	7000
5	Institución Educativa	Primaria	4	+150Educación	-	4000
6	Institución Ambiental	Primaria	7	+100 Ambiente	-	4000
7	Institución Comercial	Primaria	2	+50Comercio	-	5000
8	Industria	Primaria	7	+200Industria	-75 Ambiente	7000
9	Institución Tecnológica	Primaria	3	+170Tecnología	-	3000
10	Institución de Salud	Secundaria	2	+15%Salud	-	1000
11	Institución Educativa	Secundaria	2	+10%Educación	-	800
12	Institución Ambiental	Secundaria	2	+12%Ambiente	-	800
13	Institución Comercial	Secundaria	1	+7%Comercio	-	600
14	Industria	Secundaria	3	+18%Industria	-8% Ambiente	1000
15	Institución Tecnológica	Secundaria	2	+10%Tecnología	-	800

Por otro lado, cuando dos tipos diferentes de edificaciones están próximas, ellas reciben sanciones o bonificaciones por dicha proximidad (ver Tabla II). Por ejemplo, si un hospital está próximo a una industria se le daría una penalización de -6 puntos en ambos edificios porque están cerca. Si construimos

un centro de investigación (institución tecnológica) cerca de una escuela o universidad (instituciones educativas), se le daría una bonificación de 3 puntos a cada uno. Para determinar la proximidad se considerada la zona de cobertura para cada tipo de edificio (véase la Tabla I).

**Tabla II:** Bonificación y Sanción en Función de la Proximidad de los Tipos de Construcción

	P Salud	P Ed	P Am.	P Com.	P Ind.	P Tec.	S Sal	S Ed	S Am	S Com.	S Ind.	S. Tec.
P Salud	-4			-2	-6		+3				-4	
P Ed					-4	+3	+3	+3			-3	+3
P Am.					-3	+2			+3		-2	
P Co.	-2				-3					+3	-2	
P Ind.	-6	-4	-3	-3		-3	-5	-3	-3	-3	+3	-3
P Tec.	-2	+3	+2		-3			+3	+2		-2	+3
S Sal	+3	+3			-5			+3			-3	
S Ed		+3			-3	+3	+3		+2		-3	+3
S Am			+3		-3	+2		+2			-2	+2
S Co.				+3	-3						-2	
S Ind.	-4	-3	-2	-2	+3	-2	-3	-3	-2	-2		
S. Tec.		+3			-2	+3		+3	+2			

3) *Personalidades de los Agentes:* A principios del juego, los jugadores deben elegir cuatro tipos de personalidades, mientras que a los habitantes artificiales se les puede elegir al azar, o seleccionar (tanto las personalidades elegidas por los usuarios, como las seleccionadas a los habitantes artificiales, son las personalidades activas de cada uno). La personalidad de los jugadores se utiliza para calcular su felicidad, y en los habitantes artificiales es usada para establecer sus comportamientos durante el juego (por ejemplo, un habitante

artificial ambientalista siempre vota en contra de las propuestas que incluyen daños al ambiente).

Así, las personalidades de un jugador determinan sus necesidades básicas (felicidad). Las personalidades activas de un jugador aportan entre 1250 y 750 puntos al índice de felicidad en una área dada, mientras que las que no están activas permanecen en un nivel normal (1000 puntos, ver Tabla III).

**Tabla III:** Tipo de Personalidad e Índices de Felicidad

Personalidad	Salud	Educación	Ambiente.	Comercio	Industria	Tecnología
Hipocondr.	1250	1000	1000	1000	1000	1000
Con salud	750	1000	1000	1000	1000	1000
Con dificult.	1000	1250	1000	1000	1000	1000
Auto-aprende	1000	750	1000	1000	1000	1000
Indiferent	1000	1000	1250	1000	1000	1000
Ambiental.	1000	1000	750	1000	1000	1000
Ahorrador	1000	1000	1000	750	1000	1000
Comprador	1000	1000	1000	1250	1000	1000
Industrial	1000	1000	1000	1000	1250	1000
Contra Indust	1000	1000	1000	1000	750	1000
Anticuado	1000	1000	1000	1000	1000	750
Pro-tecnol	1000	1000	1000	1000	1000	1250

4) *Índice de Felicidad de una Ciudad:* El índice de felicidad del área j de la ciudad se calcula como:

$$PT_j = \sum_l \sum_i (PC_{ij}^l + \sum_s CER_{si}) + \sum_m \sum_k (PC_{kj}^m + \sum_s CER_{sk}) \quad (1)$$

Donde l representa los edificios principales y m los edificios secundarios de la ciudad, respectivamente,  $PC_{ij}$  es la puntuación total que da el edificio primario i al índice de felicidad del área j (ver Tabla I), tomando para ello en cuenta las intercepciones con otras edificaciones, y  $CER_{ik}$  son las bonificaciones o penalizaciones en función de la cercanía de los edificios i y k (ver Tabla II). La ecuación 1 determina cual es la afinidad de las edificaciones cercanas según la Tabla I. Un área "feliz", es aquella donde las edificaciones en ella tienen cierta relación (por ejemplo, instituciones educativas y tecnológicas).

El cálculo del índice de felicidad para cada jugador p es:

$$VI_p = \sum_j \frac{1000 * PT_j}{TRJ_{pj}} \quad (2)$$

Donde,  $TRJ_{pj}$  es el total requerido por el jugador p para el índice j según su personalidad (ver Tabla III). En este caso, el índice de felicidad del jugador tiene que ver con la relación que existe entre sus personalidades activas y las edificaciones en la ciudad. Por ejemplo, si una de las personalidades de un jugador es ecológica, la existencia de instituciones ambientales aumentarán su índice de felicidad, y la existencia de instituciones industriales lo disminuirán.

Luego de obtener los índices de cada agente, se promedian todos, para generar los índices generales de felicidad de la ciudad.

La Figura 1 muestra una de las pantallas de Metrópolis, en la que se puede observar la cantidad de dinero en el presupuesto actualmente (ver flecha 1), la edificación selecciona y su costo (ver flecha 2), las coordenadas X, Y del mapa (ver flechas 3 y

4), los índices de felicidad en cada área (salud, educación, medio ambiente, comercio, tecnología e industria, ver flecha 5), las coordenadas en el mapa (ver flecha 6), el botón para configurar el juego al inicio (ver flecha 7), el mapa de la

ciudad (ver flecha 8), y la leyenda con los iconos para cada tipo de construcción (ver flecha 9).

Además, la Figura 2 muestra un ejemplo de cómo la ciudad se ha ido organizando, en función de las decisiones de sus habitantes (jugadores).

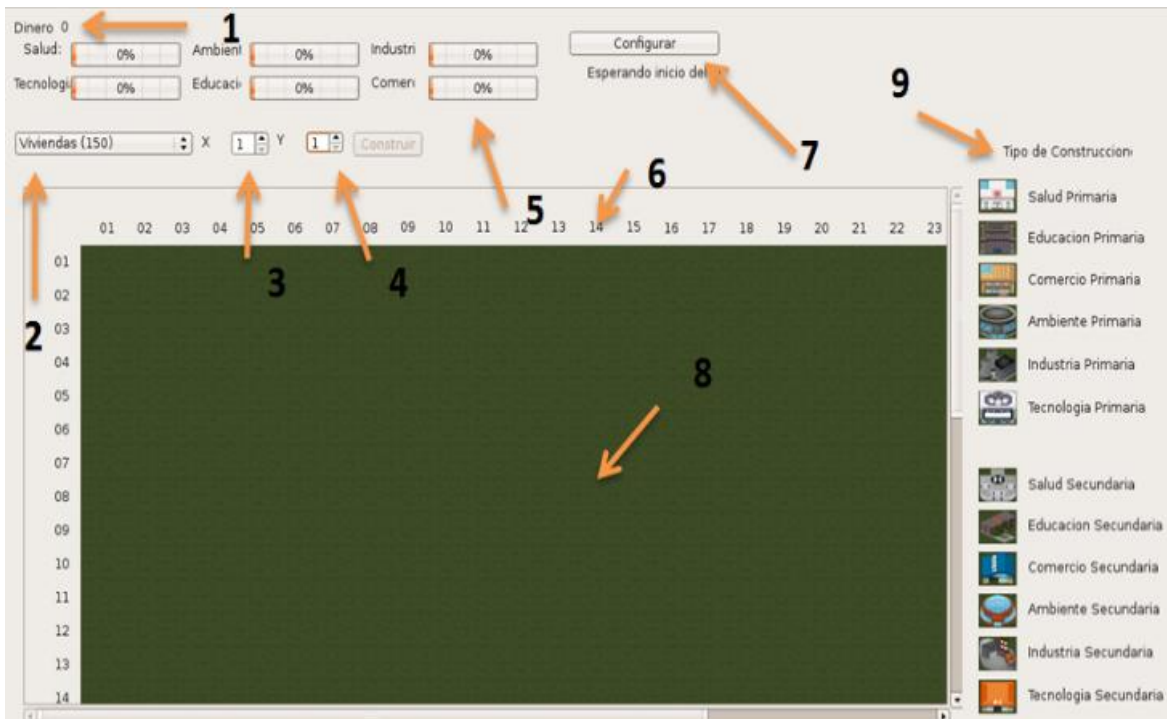


Figura 1: Pantalla Principal de Metrópolis [9]

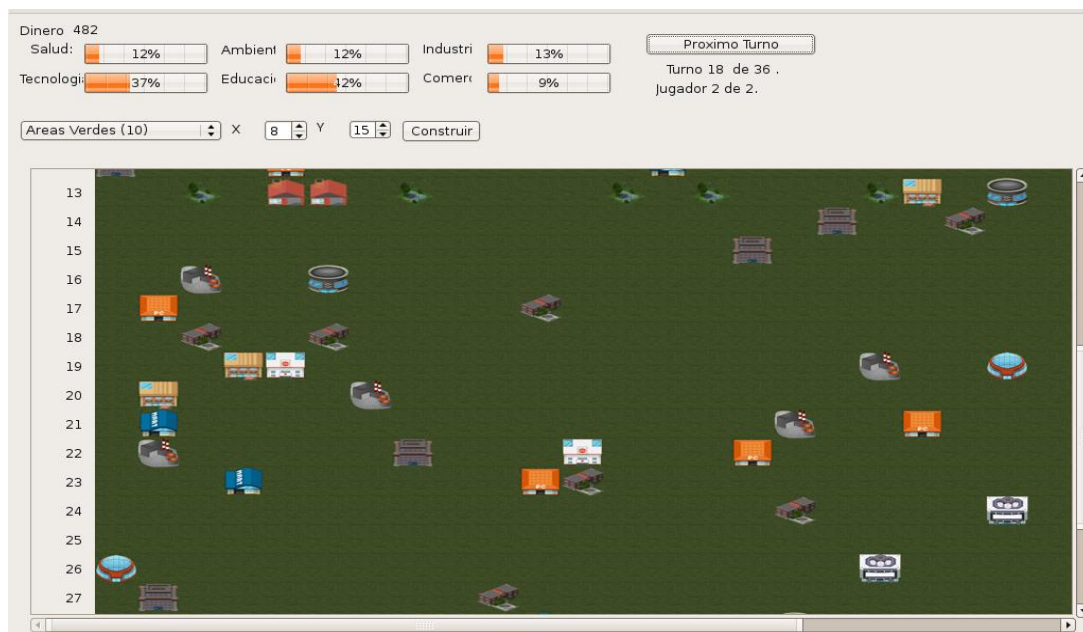


Figura 2: Ejemplo de una Ciudad en Metrópolis [9]

### III. ANÁLISIS DE LA EMERGENCIA FUERTE PARA METROPOLIS

#### A. Caracterización de la Emergencia Fuerte en Metropolis

Para evaluar dónde introducir mecanismos que posibiliten comportamientos emergentes en Metrópolis, se deben considerar los siguientes aspectos:

- Determinar aquellos elementos que repercuten en los procesos de toma de decisión en el juego que se puedan parametrizar.
- Determinar cómo desde la interacción de los jugadores de Metrópolis, se pueden establecer mecanismos de aprendizaje de esos parámetros.

En el caso de Metrópolis, los procesos de toma de decisión determinan los índices de felicidad. Ellos son afectados por los siguientes elementos:

- Las zonas de cobertura (ver Tabla I)
- Las bonificaciones/penalizaciones que aporta cada tipo de edificación (ver Tabla I)
- Las penalizaciones por las proximidades de las edificaciones de diferentes tipos (ver Tabla II)
- Las penalizaciones por las intercepciones de las edificaciones del mismo tipo (ver Tabla I)
- Los costos de cada tipo de construcción (ver Tabla I)
- Los puntos que aportan las personalidades a los índices de felicidad (ver Tabla III)

Esos son potenciales parámetros, que se pueden adecuar en el juego (que se pueden aprender), para lo cual se requieren establecer los mecanismos necesarios para que el juego lo vaya modificando internamente por procesos de aprendizaje, cuando juegan los usuarios.

En este trabajo vamos a analizar el comportamiento de uno de ellos en la emergencia en el juego, el efecto por aprender el radio de cobertura de cada edificación. Este parámetro es fundamental, porque posibilita dos aspectos:

- La aparición de patrones urbanísticos, ya que determina los posibles agrupamientos que se dan por tipo de edificaciones (ver Tablas I y II).
- La adecuación de la ciudad a los ciudadanos, tal que sus índices de felicidad se logren mejorar.

En la siguiente subsección se analiza con más detalles este último aspecto, ya que inspirado en esa mejora, es que se propone el mecanismo de aprendizaje del radio de cobertura.

#### B. Ejemplo de Mecanismo Emergente Fuerte en Metropolis

En Metrópolis, el radio que cubre una edificación determina cuando tiene solapamiento con otras edificaciones. El radio indica el entorno cercano de influencia de una edificación en la ciudad. Metrópolis usa en cada iteración, los valores de radio para penalizar o bonificar cada vez que exista un solapamiento entre construcciones (sin importar si son primarias o secundarias).

El valor de radio, tanto para las construcciones primarias como secundarias, se puede observar en la Tabla I. Además, hay

construcciones que no se les asigna valor del radio, tales como las zonas residenciales y calles, ya que éstas solo afectan al sitio de la ciudad donde están. Es decir, en estos casos sus construcciones no tienen ningún impacto en sus vecindades.

El radio es un parámetro que se podría adecuar a los usuarios. Su influencia en el índice de felicidad es importante, ya que determina las penalizaciones, tanto de proximidad como de intercepción (ver ecuación 1). En ese sentido, establecer valores de radio que maximicen los índices de felicidad de los jugadores sería el objetivo a alcanzar. Por ejemplo, un valor de radio que minimice las penalizaciones entre las edificaciones importantes para las personalidades e intereses de los jugadores, sería el objetivo del proceso de aprendizaje.

En este trabajo se modificarán los valores de radio, usando como radio inicial por defecto el mismo de la Tabla I, considerando un valor adicional, denominado  $rX$ , que podrá ser negativo o positivo. En particular, consideraremos:

- Variables adicionales por tipo de área para el ajuste de sus radios (salud, educación, ambiente, comercio, industria, tecnología):  $rS, rE, rA, rC, rI, rT$ .
- Además, se calculará el valor promedio de felicidad por área de la ciudad, considerando a todos los habitantes de la ciudad.

En función de esas variables, se actualizan los radios de cada edificación, usando los siguientes criterios (ver Figura 3):

- Si el valor del índice se encuentra por encima del promedio en un rango inferior al 10%, se deja igual ( $rX=0$ ).
- Si el valor del índice se encuentra por encima del promedio, entre el 10% y el 90%, se decrementa uno ( $rX=-1$ ).
- Si el valor del índice se encuentra por encima del promedio, en un rango superior al 90%, se decrementa dos ( $rX=-2$ ).

Para el caso contrario,

- Si el valor del índice se encuentra por debajo del promedio en un rango inferior al 10%, se deja igual.
- Si el valor del índice se encuentra por debajo del promedio entre el 10% y el 90%, se incrementa uno ( $rX=+1$ ).
- Si el valor del índice se encuentra por debajo del promedio en un rango superior al 90%, se incrementa dos ( $rX=+2$ ).

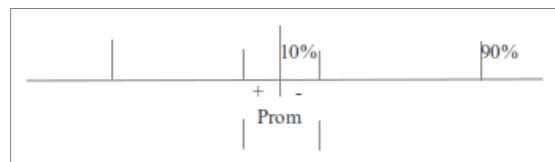


Figura 3: Promedio y Rangos de Cercanía

Las reglas antes descritas, se implementan en un macro-algoritmo que aprende a modificar los radios de cada tipo de edificación, haciendo al juego auto-modificable. Ese macro-

algoritmo es el siguiente, para el caso Salud (es similar para el resto de áreas):

```

if (salud >= fprom) {
  If (salud-fprom < fprom*0.10)
    rS=rS;
  else if (salud-fprom >= fprom*0.10 && salud-fprom < fprom*0.90)
    rS--;
  else if (salud-fprom >= fprom*0.90)
    rS=2;
}
else if (salud < fprom) {
  if (fprom-salud < fprom*0.10)
    rS=rS;
  else if (fprom-salud >= fprom*0.10 && fprom-salud < fprom*0.90)
    rS++;
  else if (fprom-salud >= fprom*0.90)
    rS+=2;
}
    
```

IV. EXPERIMENTOS

Se realizó una serie de pruebas, garantizando en cada una de ellas que las decisiones tomadas por los jugadores fuesen las mismas, tanto al jugar Metrópolis sin cambio de radio como Metrópolis auto-modificable.

A. Comparación General de Metropolis con Modificación y sin Modificación de Radios

En esta prueba se definen los habitantes de la ciudad aleatoriamente, tanto para el caso de Metrópolis sin cambio de radio y Metrópolis auto-modificable. Los resultados obtenidos de los índices de felicidad por área se observan en la Tabla IV para Metrópolis auto-modificable, y en la Tabla V para Metrópolis sin modificar sus radios, para los años 3, 4 y 5. Se muestran para 5 años, porque es el periodo de tiempo suficiente habitualmente, para empezar a ver comportamientos emergentes en la ciudad.

Al hacer un análisis de los resultados, se observa que con Metrópolis adaptativo se obtiene:

- Que el valor de los promedios finales de los índices de felicidad por área son siempre superiores.
- Que el valor de los promedios generales del índice de felicidad de la ciudad por iteración (año) son siempre superiores.

Tabla IV: Metrópolis con Radios Modificados por Área

Área vs Iteración	3	4	5	Promedio
Salud	24	100	85	69,67
Educación	62	99	100	87
Ambiente	49	57	100	68,67
Tecnología	21	99	37	52,33
Industria	56	54	65	58,33
Comercio	46	18	77	47,33
Promedio	43	71,33	77,33	

Tabla V: Metrópolis sin Radios Modificados por Área

Área vs Iteración	3	4	5	Promedio
Salud	13	34	78	41,67
Educación	35	36	83	51,33
Ambiente	31	37	95	54,33
Tecnología	37	39	52	42,67
Industria	37	55	37	43

Comercio	19	30	40	29,67
Promedio	28,67	38,5	64,17	

B. Comparación de Metropolis con y sin Modificación de Radios, para una Especifica Personalidad

En esta prueba se define un perfil de usuario hipocondriaco para todos los agentes (habitantes de la ciudad), y se ejecutan las dos versiones de Metrópolis (con modificación y sin modificación de radio) por 4 años. Los resultados obtenidos se observan en la Tabla VI, los cuales indican que:

- Metrópolis adaptativo alcanza un mejor valor en cada uno de los índices de felicidad por área.
- En particular, en el área de salud, que es fundamental para esa personalidad, se alcanza una mejora notable. Además, en otras áreas también se alcanzan mejoras importantes, como por ejemplo, en educación.

Tabla VI: Resultados con Modificación y sin Modificación de Radio, para la Personalidad Hipocondriaca

Área vs Iteración	Con Modificación	Sin Modificación
Salud	83	69
Educación	60	34
Ambiente	38	23
Tecnología	56	48
Industria	53	47
Comercio	61	27
Promedio	58,5	41,33

C. Comparación de Metropolis con y sin Modificación de Radios, para Habitantes con Personalidades Diversas

En esta prueba suponemos que los agentes tienen personalidades diversas, pero definidas por nosotros. En este caso, suponemos las siguientes personalidades, distribuidas entre los habitantes de la ciudad: hipocondriaca, autodidacta, ahorrador y pro-tecnología. Los resultados se muestran en la Tabla VII, determinándose los siguientes aspectos:

- Los resultados son mejores cuando el radio se auto-modifica.
- Aunque las personalidades de los habitantes son diversas, Metrópolis adaptativo logra satisfacer todos los intereses para el grupo de agentes presentes (áreas de tecnología, salud, comercio, educación).
- Un caso interesante es en la área de comercio, donde Metrópolis adaptativo logra reducir ese índice, por ser de interés hacerlo por una de las personalidades presentes (ahorrador).
- También, es importante observar las notables mejorías que realiza Metrópolis adaptativo en las áreas de educación y tecnología.

Tabla VII: Resultados con y sin Modificaciones de Radio para la Personalidades Hipocondriaca, Autodidacta, Ahorrador y Pro-Tecnología

Área vs Iteración	Con Modificación	Sin Modificación
Salud	74	42

Educación	96	54
Ambiente	59	26
Tecnología	100	42
Industria	42	38
Comercio	20	35
Promedio	65,17	39,5

## V. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha propuesto una modificación a Metrópolis, para conferirle características de emergencia fuerte. En específico, se le permite aprender cual debe ser el radio de cobertura de las edificaciones. Esto lo va haciendo en el tiempo, sin perder sus capacidades para hacer emerger patrones (emergencia débil).

Particularmente, para mostrar la importancia de cambiar el radio, en vez de dejarlo constante, como la primera versión del juego, se realizaron las mismas pruebas. Basada en los resultados obtenidos, vemos como el aprendizaje del valor del radio logra una mejor adecuación de los índices de felicidad de la ciudad, derivado de una emergencia de patrones urbanístico que siguen los intereses de sus ciudadanos.

En específico, la versión adaptativa permite alcanzar niveles de felicidad más adecuado a las personalidades de los agentes, esto se debe a que la modificación del radio de alcance que se realiza adapta el juego a las necesidades de los agentes. Modificar el radio es modificar el impacto que tiene un edificio sobre sus zonas adyacentes, y por lo tanto, las necesidades que cubre. Esta primera experiencia abre un abanico de posibilidades alrededor del proceso de emergencia fuerte en Metrópolis, modificando otras variables que inciden en la dinámica del juego.

En Metrópolis adaptativo la ciudad se transforma en un sistema dinámico, cuya evolución depende de las emergencias fuertes que se producen en ella producto de las decisiones colectivas de los agentes, y de las auto-modificaciones que él va realizando en sus parámetros, que producen fuerzas ascendentes que afectan directamente su estructura general. En Metrópolis adaptativo se acelera el comportamiento emergente. En específico, los comportamientos emergentes que se aceleran en la nueva versión de Metrópolis, basados en la emergencia fuerte, son:

- Patrones urbanos en la ciudad, con edificios similares en ciertas zonas de ella (edificios atraen a otros edificios similares, que se construirán cerca de ellos).
- Patrón de felicidad en la ciudad, que sigue las personalidades de los agentes que alberga (combina de alguna manera, las necesidades de sus ciudadanos).

Metrópolis adaptativo acelera dichas emergencias, porque logra una adecuación más rápida de los índices de felicidad de sus ciudadanos, por el proceso adaptativo incorporado por la emergencia fuerte.

Por otro lado, en la Sección III se han identificado otros elementos que pueden coadyuvar a la emergencia fuerte, como las bonificaciones/penalizaciones que aportan cada tipo de edificación, o las penalizaciones por las proximidades de las edificaciones de diferentes tipos, entre otras. Cada una de ellas coadyuva de una manera diferente a propiedades emergentes

en Metrópolis, ya sea para definir patrones urbanísticos, o hacer emerger un comportamiento global de la ciudad que siga las personalidades de sus ciudadanos. En ese sentido, próximos juegos deberán evaluar la sensibilidad de esas métricas, para facilitar esos procesos emergentes en Metrópolis.

Podemos ver que hasta ahora se han estudiado sobre Metrópolis dos tipos de emergencia, una emergencia débil, desarrollada en la primera versión [2], para hacer emerger patrones urbanísticos y comportamiento general de la ciudad, parecido a la de sus ciudadanos. También, una emergencia fuerte, derivada por la propia auto-modificación del juego según como van evolucionando los índices de felicidad de los jugadores (que es el enfoque planteado en este trabajo). Se deberán explorar otras formas de emergencia fuerte, derivadas por la aparición/surgimiento de nuevos comportamientos o temáticas en el juego, o por la aparición de nuevas propiedades en los objetos que lo componen (por ejemplo, nuevas personalidades o tipos de edificaciones). Al respecto, se deberán hacer dos tipos de trabajos:

- De adaptación a Metrópolis para posibilitar esa emergencia fuerte.
- De análisis de los patrones que ahora surjan como resultados finales del juego, derivado de esos nuevos comportamientos emergentes.

## AGRADECIMIENTOS

El Dr. Aguilar ha sido parcialmente financiado por el Proyecto Prometeo del Ministerio de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) de la República de Ecuador.

## REFERENCIAS

- [1] A. Rollings and E. Adams. *Fundamentals of Game Design*. Prentice Hall, 2006.
- [2] J. Juul, *The Open and the Closed: Games of Emergence and Games of Progression*, <http://www.digra.org/wp-content/uploads/digital-library/05164.10096.pdf>.
- [3] J. Dormans, *Simulating Mechanics to Study Emergence in Games. in proceedings of the Seventh Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference*, 2009.
- [4] J. Aguilar, *Introducción a los Sistemas Emergentes*. Talleres Gráficos, Universidad de Los Andes, 2014.
- [5] N. Perozo, J. Aguilar, O. Terán, and H. Molina, *Self-organization and Emergence Phenomena in Wikipedia and Free Software Development using MASOES*, Publicaciones en Ciencias y Tecnología, vol. 7, pp. 51-72, 2013.
- [6] J. Aguilar, J. Cardozo, C. González, and B. Rengifo. *Una Aproximación a los Juegos Emergentes. Metropolis, Simulador de Ciudades Autogestionadas*. in proceedings of the XXXVII Conferencia Latinoamericana de Informática (CLEI 2011), Quito, Ecuador, October 2011.
- [7] P. Sweetser. *Emergence in Games*. Charles River Media, 2007.
- [8] P. Sweetser and J. Wiles. *Scripting versus Emergence: Issues for Game Developers and Players in Game Environment Design*. International Journal of Intelligent Games and Simulations, vol. 4, pp. 1-9, 2005.
- [9] P. Adams. *Teaching and Learning with Simcity 2000*. Journal of Geography, vol. 97, pp. 47-55, 1998.
- [10] A. Ferré. *SimCity*, in Verb, Architecture Boogazine: Connection. Actar, 2004.



- [11] *Lincity - A City Simulation Game*. <http://lincity.sourceforge.net>.
- [12] *Video de Metropolis*, <http://www.ing.ula.ve/~aguilar/desarrollo-software/desarrollo-software.htm>.
- [13] K. Binmore, *La Teoría de Juegos: una Breve Introducción*, Alianza Editorial, Madrid, 2011.