

Publicado en¹:

Soler-Adillon, Joan (2011), "Jugando con píxeles", en *Impresión Expandida / Expanded Print*, eds. Eloi Puig, Alicia Vela y Antonia Vilà (Barcelona, Universitat de Barcelona, Ministerio de Ciencia e Innovación y Fondo Europeo de Desarrollo Regional, ISBN: 978-84-614-8786-8), 161- 198.

1. Introducción

Empecé a trabajar con píxeles durante mi experiencia como alumno de uno de estos pocos profesores que uno recuerda de manera especial, por haber sido una gran fuente de inspiración. De hecho, esta historia acaba con otro de estos profesores inolvidables, pero vayamos por partes.

Con Daniel Rozin aprendí a ver y manipular las imágenes digitales píxel a píxel. De hecho, el principio es sencillo: Si cada imagen está formada por tantos píxeles de ancho por tantos de alto, y cada uno de ellos no es más que un valor de color, podemos recorrerlos uno por uno para analizarlos, cambiarlos, jugar con ellos... y con esto crear virtualmente cualquier imagen posible.

Vista así, una imagen digital no es más que información numérica, y su origen no importa. Puede ser generada por una máquina de fotografiar, enteramente por ordenador, o puede ser una de las 25 imágenes por segundo que forman un vídeo. Todas tienen una misma codificación y, por lo tanto, una misma manera de ser manipuladas.

A ojos de un artista, este hecho es fascinante. Da igual que sea imagen fija o en movimiento, sintética o real: A través de la programación, se convierte en un material inmensamente rico para la creación.

Programar no es fácil, pero tampoco está fuera del alcance de nadie. Al fin y al cabo, la programación se reduce a una relativamente pequeña serie de operaciones lógicas y matemáticas, ninguna de las cuales no puede aprender un niño en sus últimos años de primaria.

De hecho, es sorprendente como hoy en día nos relacionamos constantemente con aparatos programables y, sin embargo, la programación permanece ya no sólo técnicamente imposible en la mayoría de los dispositivos que manejamos, sino completamente opaca a casi todo el mundo. Piénsese en un teléfono electrónico cualquiera o en una televisión doméstica. ¿Por qué no es posible reprogramar mi mando a distancia para que realice las funciones que a mí más me interesan, o

hacer que mi teléfono se bloquee con la secuencia de teclas que yo decida?

En los 70, Alan Kay encabezaba el proyecto del Xerox Alto, el precedente directo de los ordenadores personales actuales. En él existía la posibilidad de utilizar un lenguaje simple de programación, y esta era una de las actividades que realizaban los grupos de niños que visitaban el Xerox PARC: Programar sus propias aplicaciones. El mismo nombre del lenguaje de programación que utilizaban, *Smalltalk* (que se podría traducir por *conversación intrascendente*), sugería ya que Kay entendía la programación como algo que no había de estar sólo en manos de unos pocos.

Quizá en una cultura que muchos no dudan en calificar de “digital” habría que plantearse si la capacidad de programar un ordenador (por otro lado, una excelente manera de aprender lógica, matemáticas y geometría) ha de empezar a entenderse como algo a universalizar.

En las artes, si bien ni mucho menos es un sentimiento universal, hace ya tiempo hay ya un inmenso colectivo que ha aceptado la programación y el medio digital como otra herramienta artística más, y muchos han decidido dedicarse a utilizarla como herramienta principal.

El texto presente es un relato personal, descriptivo, de la entrada en el mundo del arte digital a través de la programación, entendida desde esta posición intrascendente, de programador que no es un programador de verdad.

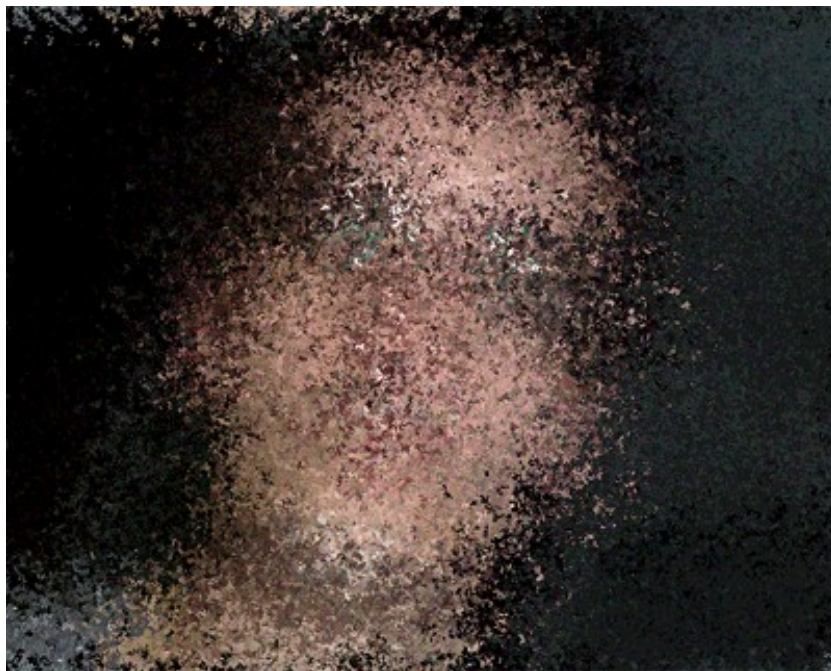
2. Liquid Video

Liquid Video es una pieza que surgió a partir de esta idea del trabajo con los píxeles descrita unos párrafos más arriba. Es, a su vez, un modesto ejemplo de algo que tiene también que ver con la última pieza que se presentará en este texto: El concepto de emergencia, que habla de fenómenos complejos generados a partir de la iteración de reglas y procesos simples².

De hecho, *Liquid Video* no es realmente una pieza interactiva. Ni tan siquiera el apelativo de reactiva la define correctamente. El calificativo para describirla más propiamente sería el de cuadro digital (*live painting*) o espejo. Es una pieza que dialoga con su entorno³, tenga este o no presencia humana. Así, el visitante puede escoger participar o no en la creación constante de imagen que en ella se desarrolla. Si lo hace, habrá de adaptarse a las reglas y al ritmo de la pieza, ya que esta seguirá su proceso sea cual sea la imagen que lee con la cámara.

La instalación funciona con un bucle continuo. Un ir y venir entre dos estados, que por su aspecto podemos definir como estado líquido y de secado. La pieza consta de una pantalla de proyección y una cámara de vídeo, que es la que constantemente nutre al sistema de la imagen con la que trabajar.

Así, siempre a partir de la imagen de vídeo, el primer estado presenta al visitante una imagen de reflejo que se va distorsiona cada vez más. Como si de un efecto de aguas se tratara, los colores se van escampano por el lienzo digital hasta hacer irreconocibles las formas, conservando sólo los colores del entorno y del visitante como algo conocido.



Liquid Video: Efecto de aguas

En este punto, el sistema entra en el estado de secado, donde poco a poco la imagen del vídeo se va a ir recomponiendo. Los colores vuelven poco a poco donde estaban originalmente, pero lo hacen dejando pequeños trazos y rastros por el camino. Así, el efecto que se produce es muy parecido al de una pintura secándose, que se va creando siempre a partir de la imagen del espejo al que emula el vídeo. Justo cuando la imagen empieza a parecerse a la simple réplica de lo que veríamos en cualquier lectura video-gráfica convencional, el proceso de aguas vuelve a empezar.



Liquid Video: Estado de secado

El proceso que crea estos dos efectos es, en realidad, extremadamente simple. Lo único que está haciendo el sistema es leer un número limitado de los píxeles que conforman la imagen del vídeo original (solamente 10.000, de un total de 307.200), pero no los pinta donde en principio les tocaría, sino en un punto generado a partir de un concepto básico de programación: El *random Walker* (literalmente, caminante aleatorio).

El *random Walker* no es más que un elemento cuya posición que se va moviendo siempre respecto a donde está en cada momento, bien hacia arriba o abajo, o hacia derecha o izquierda, aleatoriamente. Es un típico ejercicio de un curso de introducción a la programación.

Esta es pues la base de la pieza. Leer píxeles en un sitio y pintarlos en otro. (Por leer y pintar se entiende leer la información de color de un punto en el vídeo, y dibujar este mismo color en otro). Las dos únicas normas: Que no se pinten en un sitio totalmente aleatorio sino mediante un *random walk* a partir de donde se va leyendo el color original, y no pintar todos los píxeles sinó una pequeña parte. El único cambio de un estado a otro es una ligera tendencia del *random walk* de los puntos a llevarlos a su posición original, aquella de la cual están constantemente leyendo el valor de color. El hecho de que no todos los píxeles estén cambiando permite el efecto de secado, que no es más que el trazo de color que deja un píxel mientras vuelve a su posición original.

Son pues, normas muy simples que generan resultados más complejos de lo que uno podría esperar a partir del mero análisis de estas, al menos des del punto de vista estético. De aquí la anterior mención al

concepto de emergencia, que viene de cómo apareció el estado de secado. No fue un efecto planeado ni tan siquiera buscado, sino que lo reveló la ejecución de las simplísimas reglas que subyacen en la programación de la pieza, con una mínima variación respecto al estado líquido.

El resultado es un cuadro en constante movimiento, que impone su ritmo al visitante, o en todo caso al entorno. Delante de un paisaje urbano, se torna en una interpretación que recuerda lo pictórico de lo que va sucediendo delante de la cámara. La instalación estuvo durante unos meses en Manhattan, apuntando al cruce entre Broadway y Waverly Place. Por la noche, los faros de los taxis iban dejando trazos blancos y rojos entre algo de amarillo. Los transeúntes, la mayoría sin saberlo, aportaban también algo de su color a la composición, y los *stands* de los periódicos se dibujaban y desdibujaban continuamente.

En otros entornos, *Liquid Video* puede ser un espejo íntimo, que juega con la imagen de uno mismo, desdibujando y redibujando el rostro lentamente, dejando trazos por hacer, en una evocación de múltiples metáforas sobre la vida y el paso del tiempo.

3. Painted

Painted fue la pieza que siguió a *Liquid Video*, y de alguna manera puede entenderse como una evolución de esta última hacia algo que sí que es una instalación interactiva. *Painted* se inspiró fuertemente en obras como *Swarm* de Daniel Shiffman y los espejos de Rozin.

Como en la pieza anterior, se trata de un cuadro digital que intenta dialogar con el entorno, pero en este caso dialoga también con los visitantes. De hecho, *Painted* dialoga con el entorno solamente cuando en él detecta movimiento, símbolo primero de la vida, o al menos de actividad.

Así, tal y como una obra de arte no existe sin unos ojos que la miren, esta pieza existe sólo con la presencia y movimiento del cuerpo del visitante. Si nada pasa enfrente, nada cambia en *Painted*. Si algo se mueve, cambia una parte de la imagen, de manera que a su vez es imposible acercarse a la pieza sin alterarla.

Es pues una pieza que busca constantemente el cambio para responder a él. Este es el diálogo que ofrece. Si nada pasa y nadie se mueve, la pieza resta también inactiva.

Esta obra, como la anterior, trabaja con el píxel como material primario y con el vídeo como fuente de información. Como la anterior, nunca actualiza un fotograma por completo. En *Painted* se actualiza (cambia) solo una pequeña parte a la vez, a partir de un punto en

concreto. De hecho, lo hace a partir de aquel punto donde detectó el movimiento. De uno de ellos, con lo cual el visitante está también sujeto al ritmo de la pieza.

El repintar de cada parte se hace radialmente, de dentro para fuera, como si de una explosión centrífuga de pintura digital se tratara. Además, como en *Liquid Video*, en la zona redibujada no se actualizan todos los píxeles sino algunos sí y otros no (de nuevo el uso de lo aleatorio). Esto le da al cuadro una especie de apariencia puntillista que lo hace más interesante.



Painted

El hecho que sólo en un punto en cada momento pueda cambiar la imagen permite, también, que un usuario pueda dejar sólo trazos de su presencia. El vídeo que está en la base de todo queda, pues, en un segundo plano, tras la creación casi-pictórica a la que sirve.

Consiguientemente, es esta una pieza que busca constantemente el cambio, el movimiento, y que tan sólo actúa cuando lo detecta.

Como *Liquid Video*, *Painted* es una pieza que demanda el mismo espacio que un cuadro convencional, pero que ofrece además la interacción. Su situación ideal puede ser en una galería de arte, pero también en el hall de un espacio concurrido, o incluso en la calle como estuvo la anteriormente descrita.

La pieza tiene un valor estético, ya que su presentación ofrece un tipo de imagen mucho más cercana al arte de la pintura que al de la televisión. Invita, simplemente, a mirar. Pero además, invita a participar, a dialogar. Si el visitante así lo quiere, puede, solo o en grupo, jugar con la creación de la imagen. Las reglas son

suficientemente sencillas como para aprenderlas, o intuir las, en muy poco tiempo, y el resultado suficientemente elaborado como para que este tiempo se alargue con la exploración, que es de hecho el participar en la creación misma de la pieza.

4. On Beauty

On Beauty es la tercera y última pieza de esta primera serie. Representa una propuesta que pide mucho más directamente la acción del usuario, y en este sentido es una instalación interactiva más convencional.

A partir de los trabajos previos, *On Beauty* propone al visitante un espacio con una pantalla en blanco, rodeada por una sutil proyección de una imagen tomada desde atrás. Junto a la pantalla, el visitante encontrará un pincel con una pequeña luz incorporada. Moviéndolo hacia la pantalla, verá como siguiendo sus movimientos se va desvelando en la pantalla una imagen fija.

Esta imagen está manipulada a través de algoritmos parecidos a los utilizados en *Painted* para presentar una imagen real con un estilo casi pictórico. Embellecida, en cierto sentido. Así, el visitante se encuentra en un entorno tecnológicamente avanzado (pantalla de plasma, proyección alrededor, pincel manipulado...) y unas imágenes, en apariencia, bellas sin más.

La sorpresa está en el contenido que de hecho muestran las imágenes que se desvelan con los movimientos del pincel. Estas contienen imágenes de niños y adultos heridos en la guerra y víctimas de abusos policiales. Imágenes, en fin, que representan la injusticia social de la parte del mundo que tan alejada está de las sociedades avanzadas donde la tecnología tiene una gran presencia, a menudo gracias al sustento de tan dispares condiciones en otras partes del mundo.

De aquí el nombre de la pieza: *On Beauty*, sobre la belleza, es un modesto alegado, un pequeño grito en contra de la incuestionada aceptación de la preeminencia de la tecnología en las sociedades avanzadas, que tan a menudo viene de la mano de la opulencia, del consumo desenfrenado e innecesario de productos manufacturados en lugares donde las condiciones nos resultarían, sobre el papel, del todo inaceptables.



On Beauty

De hecho, en la pieza había un elemento de provocación claro, y la pregunta era si no era una propuesta demasiado arriesgada, y si pudiera enfadar a algunos visitantes en el momento en que se dieran cuenta de que en realidad estaban pintando niños heridos e imágenes parecidas. El caso es que en las dos jornadas de presentación inicial, ni un solo usuario pareció inmutarse. Muchos ni se dieron cuenta de qué representaba la imagen que desvelaban, quizá porque no buscaban en ella nada figurativo. Quizá, además, estamos ya completamente inmunizados a ver este tipo de imágenes.

On Beauty cerró esta pequeña trilogía basada en la manipulación de imagen real. Esta tercera pieza, distinta en su presentación a las dos primeras, abrió también la puerta a proponer a los visitantes una mayor implicación. De todo esto bebió la cuarta y última pieza que presentamos en este texto.

5. Digital Babylon

Esta historia empezaba con un maestro y avancé que terminaría con otro. Este es Daniel Shiffman, de quien tuve el privilegio de ser uno de sus primeros alumnos. Con su paciencia enorme, supo deshacer los primeros nudos en mis hilos de Ariadna hechos de funciones y variables, y luego se inventó unas lecciones fabulosas que inspiraron el último proyecto que se describe aquí: *Digital Babylon*. Durante todo el proceso fue el punto de apoyo más valioso.

Digital Babylon es una instalación interactiva muy distinta a las anteriores. En primer lugar, en su estética, que abandona el trabajo a

partir de la imagen real para centrarse en la sintética. Sintética y simplista, ya que los elementos que conforman la imagen son intencionadamente simples, para que sean sus movimientos e interacciones entre ellos los que den a la pieza la sensación buscada.

La pieza presenta al usuario un pequeño ecosistema virtual. El sistema funciona sin que sea necesaria la intervención de ningún visitante en la instalación, aunque sí que este puede intervenir para alterarlo entrando en un espacio designado delante de la proyección con la que se muestra el espacio virtual.

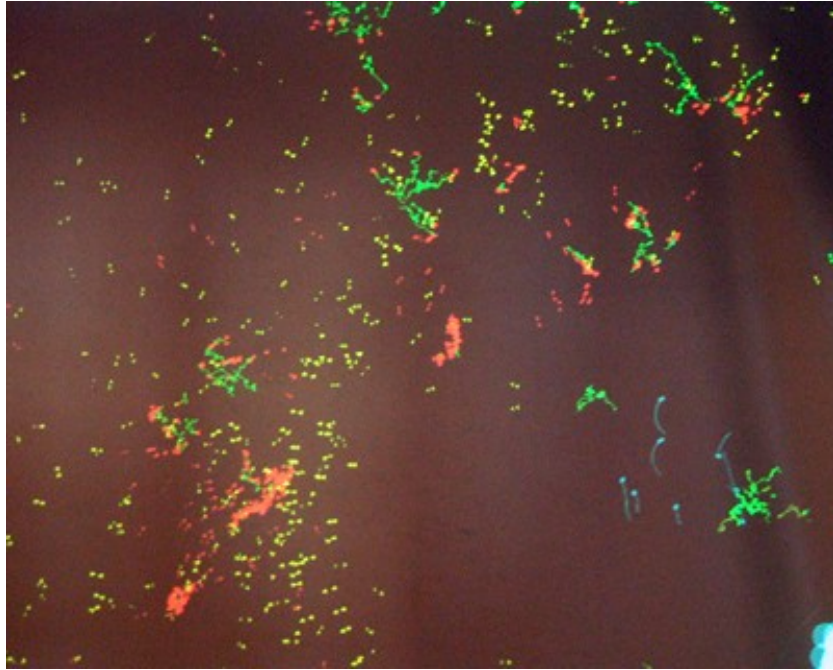
Esta instalación nació de la voluntad de proponer una alternativa a un proceso muy habitual en las instalaciones interactivas. Esto es, el de una dualidad clara de estados: Un primer estado de espera, siempre idéntico, y un segundo de interacción. Lo habitual es que al acabar el segundo la pieza vuelva al primero sin más.

La propuesta de *Digital Babylon* es intentar conseguir una instalación que acumule todas y cada una de las interacciones con los visitantes, para así ofrecer una propuesta cambiante al visitante. La idea era ofrecer al visitante un doble nivel de interacción. El de la que uno encuentra y entiende de forma inmediata, y otra más sutil, más de acuerdo con la idea del diálogo de la pieza con su entorno, que podríamos llamar de interacción acumulativa⁴.

Así, inspirada en obras como *A-Volve*, de Christa Sommerer y Laurent Mignonneau o *Evolved Virtual Creatures* de Karl Sims, la obra ofrece un doble nivel de interacción. Uno evidente, con la entrada del usuario en el espacio de la instalación, y otro más sutil, de acumulación, desarrollado a través de la programación evolutiva. Lo que sigue es una descripción de la pieza y sus procesos.

Al entrar en el espacio de la instalación, el usuario se encuentra con una proyección de fondo negro. En ella, dos tipos de elementos visuales se mueven y un tercero va apareciendo. Se trata de las dos especies que viven en este ecosistema virtual y un tercer elemento que sirve de comida a la primera de ellas.

Esta primera especie (a la que llamaremos especie principal), está formada por desde unos pocos a algunos centenares de seres de aspecto simple (pequeños triángulos que cambian de color al cambiar su estado). Sus funciones básicas son alimentarse y reproducirse. Si no hacen lo primero de manera suficiente, mueren. Y si lo hacen hasta un cierto nivel, pueden acumular la energía suficiente para intentar lo segundo. Si el intento fructifica, un nuevo ser de la misma especie nace y entra en la cadena.



El ecosistema virtual de *Digital Babylon*

Todo esto lo hace siempre evitando en lo posible el contacto con la otra especie, que es su depredadora. Esta segunda especie tiene también sus propias y distintas maneras de alimentarse y reproducirse. Lo primero lo hace a costa de la especie principal, pues es comiéndose a estos que consigue alimento.

La especie principal encuentra el alimento en las plantas. Unos elementos que aparecen allí donde un cuerpo de un miembro de alguna de las dos especies quedó sin vida, como si su cuerpo fructificara la tierra digital. Consciente de esto, la especie depredadora está siempre transitando hacia donde hay plantas. Si por el camino se encuentra con alguno de los miembros de la especie rival, lo atacará para intentar atraparlo y comerle.

Todas estas reglas e interacciones entre los elementos individuales generan un sistema con una complejidad considerable, que a su manera va generando su propio equilibrio y ritmos. Hay fases de falta de comida que provocan la muerte de muchos individuos, lo que a su vez generará un gran número de plantas y, consiguientemente, una nueva fase de abundancia.

En todo esto proceso se pueden observar, al menos, trazos de la anteriormente mencionada idea de emergencia, ya que la complejidad parece por momentos sobrepasar la explicación que se da a partir del mero análisis de las partes que conforman la pieza. Y esto, sobretodo, si se tiene en cuenta un último aspecto que queda por explicar.

Ambas especies evolucionan a través de algoritmos genéticos, una técnica informática descrita por primera vez por John Holland en 1975 y utilizada por artistas relacionados con la corriente del *A-Life Art*

(creación artística a partir de la generación de sistemas de vida artificial). Se trata de aplicar las ideas básicas de la evolución genética a la programación.

En breve, los algoritmos genéticos normalmente empiezan con una población de elementos (agentes, subrutinas de programación, etc.) creados de manera aleatoria dentro de unos parámetros predefinidos (el genotipo). Cada uno de estos elementos (fenotipos) es luego evaluado según un criterio predeterminado (*fitness*). Los elementos que más éxito tienen son seleccionados para crear una nueva generación de población, que será evaluada nuevamente, y así sucesivamente.

Las variables que conforman cada uno de los elementos hacen aquí la función de ADN virtual, y este es recombinado en las generaciones sucesivas. De esta manera, los nuevos individuos, aun no siendo iguales que sus progenitores, heredarán las características que les han permitido tener éxito.

Finalmente, existe también la posibilidad de aplicar la mutación. Es decir, de alterar alguna de las variables que conforman alguno de los individuos de manera aleatoria. Esto permite introducir al sistema nuevas posibilidades distintas a las predeterminadas que, si resultan ser eficaces en el entorno en el que aparecen, podrán entrar en el proceso evolutivo.

Todo esto se aplica a las dos especies de *Digital Babylon*. Cada vez que dos individuos de la especie principal se aparean, aparece un nuevo individuo que hereda sus capacidades. Aquí, como en otras piezas de *A-Life art*, no hay un criterio de *fitness* predeterminado, sino que es su éxito o fracaso depende de las interacciones con el resto de elementos del ecosistema virtual y, como se verá, de las acciones de los visitantes.

Respecto a la especie depredadora, el proceso es muy similar, aunque el proceso de reproducción depende de sus acciones en grupo, el resultado es el mismo: Sólo los individuos que consiguen un cierto éxito en el entorno serán capaces de reproducirse.

Todo esto permite un entorno complejo y, a su vez, cambiante. Ambas especies están en constante evolución. Al reproducirse sólo un cierto tipo de individuos, la especie en conjunto se va modificando, y esto afecta a su vez la especie rival⁵.

Si a esto le añadimos finalmente la acción de los visitantes podemos entender la idea del doble nivel de interacción. La manera como se produce esta interacción es, simplemente, con la presencia del usuario delante de la instalación.

No hay más interfaz que el cuerpo mismo del visitante. Su presencia en un espacio determinado delante de la pantalla de proyección provoca

que aparezca una pequeña marca que le representa en el ecosistema virtual. Cuando esto pase, y siempre y cuando no estén ocupados en comer o intentar reproducirse, cada uno de los individuos de la especie principal va a tender a acercarse más o menos a este según esté codificado en su ADN virtual. Así, algunos individuos le van a ignorar totalmente y otros van a seguirle por completo. A partir de aquí, el visitante puede escoger cómo interactúa con los individuos que le siguen. Puede decidir ayudarlos (alejándoles del depredador y llevándolos hacia donde ha de aparecer comida) o puede hacer todo lo contrario, con lo que conseguirá que quienes lo siguen tengan muchas posibilidades de ser comidos por el depredador.



Una visitante en *Digital Babylon*

Según haga una cosa u otra, provocará que tengan más posibilidades de sobrevivir (y por lo tanto de reproducirse y pasar sus características a las sucesivas generaciones) los individuos que son más propensos a acercarse a los visitantes, o por el contrario, que lo hagan los más ariscos. Con esto, afectará las interacciones de futuros usuarios con la pieza, haciendo que se torne más o menos fácil interactuar con los individuos de esta primera especie según la suma de todas las interacciones de los usuarios.

Es en este sentido que se puede hablar de un doble nivel de interacción: En primer existe la interacción inmediata, de cómo los elementos reaccionan a la presencia del visitante. En segundo, la interacción acumulativa. La que hacen todos y cada uno de los usuarios y que provoca que la pieza cambie un poco con cada una de ellas, sin que ninguna de las interacciones posteriores elimine los efectos de las que se han producido anteriormente.

Esta doble interacción, junto con el cambio constante gracias a los algoritmos genéticos es la propuesta principal de *Digital Babylon*. La

idea es que con las distintas interacciones y la programación evolutiva en la pieza vaya modificándose cómo se mueve cada uno de los individuos, cómo interactúan los de cada especie entre sí, con los de la otra especie, con el entorno y, los de la especie principal, con el usuario.

La idea es que de esta manera, si la instalación está activa durante un largo tiempo (varios días o semanas), los cambios podrían ser suficientemente sustanciales como para que un visitante que repite experiencia la perciba como diferente, y de nuevo interesante.

6. Cerrando el bucle

Pasados cinco años del final del proceso descrito, echar la vista atrás, ahora con un bagaje mucho más pesado, ha sido una experiencia interesante. Cuando uno revisa las ideas de un pasado no tan lejano, se ven a veces nuevas conexiones y nuevos puntos de interés en ellas.

Desde la distancia que da un lapso de tiempo dilatado y lleno de actividad, algunas de las luces que veía en las piezas al crearlas ciertamente han disminuido, pero otras siguen activas de la misma manera, o con aún más convicción. Otras luces aparecen ahora nuevas, nuevos puntos de interés como la conexión entre la primera y última obras descritas alrededor de la creación de procesos emergentes.

De la misma manera, la propuesta de *Digital Babylon*, con los peros de la aplicación concreta, sigue siendo válida. Sigue siendo válido buscar nuevos niveles de interacción en lo artístico, de implicar al usuario también de maneras sutiles, de convertirle en cómplice del desequilibrio. Y también sigue valiendo la pena buscar el diálogo de las piezas con el entorno a la manera como reclamaba Jim Campbell.

Este artista reclamaba del arte interactivo este diálogo con el entorno, que había de conseguirse a través de piezas que eviten la repetición constante. El párrafo con la que acababa el texto donde expone la idea, a pesar de la década transcurrida (una eternidad en arte digital), sigue teniendo toda su fuerza, desde la primera afirmación al paréntesis final: “Las posibilidades existen para obras que, desde el punto de vista de cómo se perciben, nunca se repitan. Obras que respondan a su entorno no solo de una manera inmediata sino también a largo plazo, de manera impredecible y significativamente (lo cual es más fácil de decir que de hacer)”⁶.”

¹ La versión publicada en papel contiene erratas en la cita final y en los sub-apartados de capítulo, que son subsanados en esta versión en PDF. También se incluyen aquí las imágenes que no aparecen en el libro.

² Para una explicación general sobre el concepto de emergencia aplicado al arte digital (y para una lista de referencias), véase Joan Soler-Adillon. Emergencia e interactividad: A-Life Art como paradigma para la creación de experiencias de comunicación interactiva [on-line]. "Hipertext.net", núm. 8, 2010.

<<http://www.hipertext.net>>. ISSN 1695-5498. Ver también Soler-Adillon, Joan (2011). "Creating Black Boxes: Emergence in Interactive Art". ISEA 2011 Proceedings: <http://isea2011.sabanciuniv.edu/paper/creating-black-boxes-emergence-interactive-art>

³ El artista Jim Campbell propuso esta idea del diálogo de la pieza interactiva con el entorno en un artículo del año 2000: Campbell, J. (2000). Delusions of Dialogue: Control and Choice in Interactive art. Leonardo, 33, 133–136.

⁴ La noción de interacción acumulativa se describe con más detalle en el artículo citado en la nota 2.

⁵ Los resultados de estos procesos pueden ser muy sorprendentes. En una fase del proceso, el prototipo de Digital Babylon se estuvo ejecutando durante 13 horas seguidas. Pasado este tiempo, la especie principal mostraba una forma de moverse y de (aparentemente) actuar en grupo muy sorprendentes incluso para el mismo programador (un vídeo documentando el resultado puede verse en www.joan.cat/project.php?id=1).

⁶ Ídem nota 3.