

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

**Métodos Computacionales para la
Vida Artificial**

**Movimiento de plásticos y
microplásticos en el océano así
como su interacción con el
entorno**

Borrego Villa, Joaquín
Jiménez Núñez, Marina
Lorenz Vieta, Germán
Montes Grova, Marco A.

Índice

1. Introducción	4
2. Presentación del problema	4
3. Propósito	6
3.1. Modelo 1: Plásticos	7
3.2. Modelo 2: Microplásticos	8
4. Entidades	8
4.1. Escalas	10
5. Resumen del proceso y su planificación	11
5.1. Modelo Plásticos	11
5.2. Modelo Microplásticos	12
6. Conceptos de diseño	13
6.1. Principios fundamentales	13
6.1.1. Modelado del mundo	13
6.1.2. Movimiento de los plásticos y microplásticos	13
6.1.3. Biodegradabilidad de los plásticos	14
6.1.4. Interacción microplásticos-corales	14
6.2. Emergencia	15
6.3. Adaptación	15
6.4. Objetivos	16
6.5. Aprendizaje	16
6.6. Predicción	16
6.7. Percepción	17
6.8. Aleatoriedad	17
6.9. Interacción	18
6.10. Observación	18
7. Datos de Entrada e inicialización	19
7.1. Modelo Plásticos	19
7.1.1. Datos de entrada	19
7.1.2. Inicialización	21
7.2. Modelo Microplásticos	22
7.2.1. Datos de entrada	22
7.2.2. Inicialización	24

8. Submodelos	25
8.1. Submodelo de movimiento	26
8.2. Submodelo de biodegradabilidad	26
8.3. Submodelo de interacción microplástico-coral	27
9. Simulación y experimentación	29
9.1. Definición de experimentos	29
9.2. Realización de experimentos	30
9.2.1. Modelo plásticos	30
9.2.2. Modelo microplásticos	33
10. Análisis del modelo y conclusiones	36
10.1. Modelo de plásticos	36
10.2. Modelo de micro-plásticos	36

1. Introducción

El movimiento de objetos en el mar no tuvo un estudio riguroso hasta que en 1992 un carguero que cubría la ruta de Hong Kong y Washington, perdió una docena de contenedores en mitad del océano pacífico [1]. Uno de esos contenedores llevaba 28800 juguetes en su mayoría patos de goma amarillos que quedaron a la deriva en alta mar.

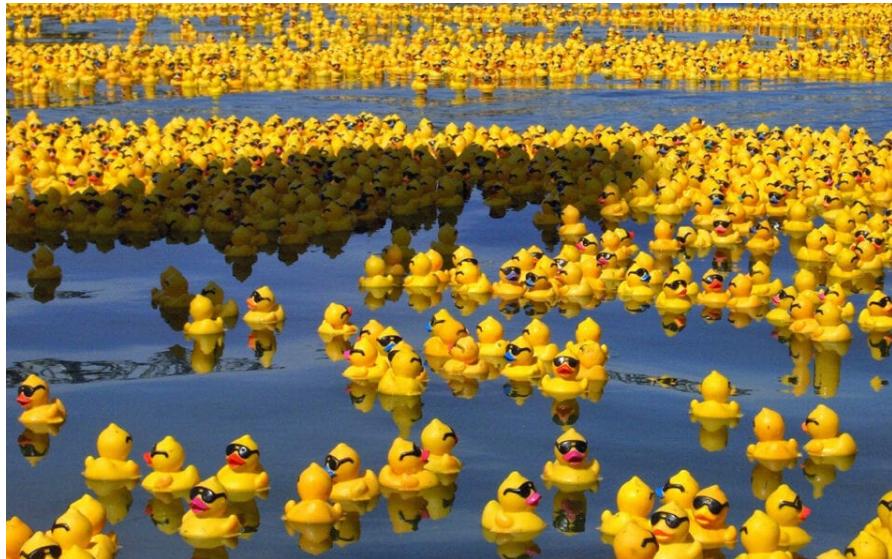


Figura 1: Patos de goma a la deriva en el océano. Fuente: <https://patvin.co.in/>

Durante 15 años estos patos de goma han estado recorriendo el océano debido a las condiciones climatológicas y las corrientes marinas. Curtis C. Ebbesmeyer [2] llevó a cabo un estudio del movimiento de estos patos que ayudó a entender el movimiento de las corrientes y a desarrollar sistemas de simulación de las corrientes oceánicas superficiales que utilizan presiones atmosféricas para predecir las dinámicas del mar. Estos sistemas ayudan a los barcos pesqueros a elegir caladeros y diseñar viajes largos, pero también ha demostrado su utilidad para encontrar restos de naufragios y objetos perdidos en alta mar.

2. Presentación del problema

Actualmente, la sociedad está acostumbrada al bombardeo incesante de noticias a cerca de la contaminación en el mundo. Es algo que se sabe que existe y que inevitablemente afecta en mayor o menor medida en la vida diaria de la sociedad. El grado de implicación de cada persona depende de muchos factores, sin embargo

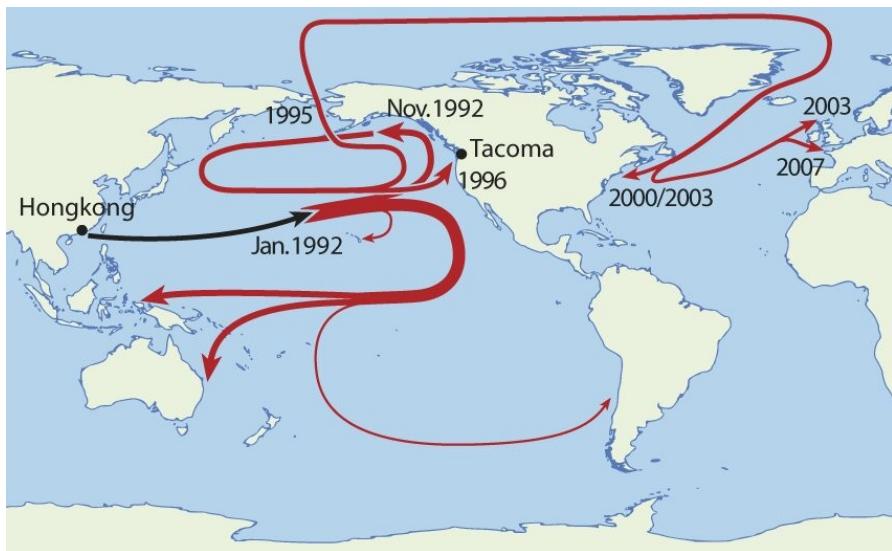


Figura 2: Ruta que siguieron los patos de gomas desde su naufragio. Fuente: <https://es.wikipedia.org>

la educación y la concienciación a cerca de este suceso son claves para mejorar el medio ambiente, sobre todo en etapas tempranas del aprendizaje. El rápido crecimiento de la población mundial, está provocando la proliferación masiva del plástico de usar y tirar, al ser el plástico un material muy persistente y que se dispersa con mucha facilidad provoca que la cantidad que se vierte al mar no deje de aumentar. Según un estudio publicado en 2016 por el foro económico mundial [3] , en 2050, el peso de los plásticos vertidos en el mundo superará al de todos los peces del mundo.

El tiempo de degradación de los plásticos vertidos al océano depende de tipo de plástico que sea y de las condiciones ambientales a las que se expone (luz solar, oxígeno, agentes mecánicos). En el caso de los océanos, la radiación UV procedente de la luz solar es el principal agente que degrada el plástico. La acción del oleaje acelera este proceso y como resultado los fragmentos más grandes se van rompiendo en trozos más pequeños, generando microplásticos. Durante todo este tiempo hasta que se degraden, todos los objetos de plástico que llegan al mar pueden causar graves daños a la fauna marina. Aunque no existe consenso sobre a partir de qué tamaño se pueden considerar microplásticos, la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) utiliza el parámetro de menos de cinco milímetros de diámetro para clasificarlos. Con todo esto, la motivación para el desarrollo de este trabajo radica en el desarrollo de una herramienta que permita estudiar el movimiento de plásticos y microplásticos en los océanos, ver como afectan a ciertos tipos de corales y sobre todo usar esta herramienta como manera fácil de

Océano de plástico

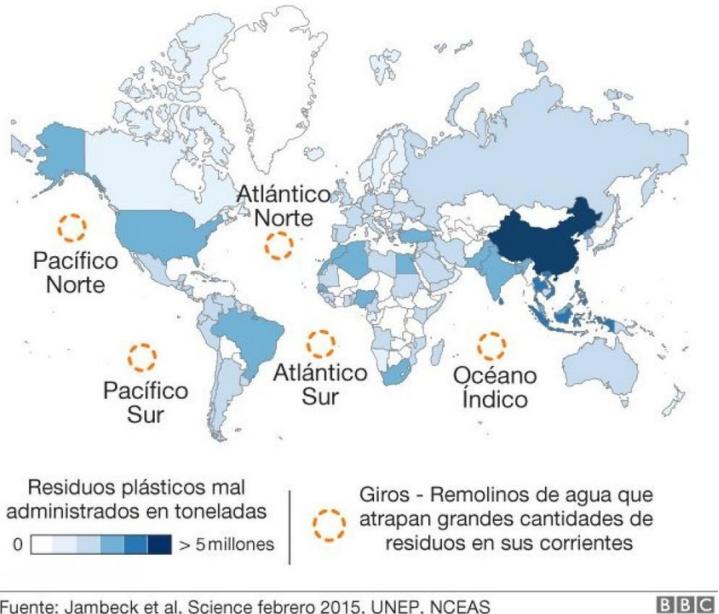


Figura 3: Residuos de plástico en el mar. Fuente: <https://slacc.org.uk/>

experimentación a la hora de educar sobre este tema a los mas jóvenes.

El estudio llevado a cabo durante el desarrollo de éste trabajo se basa en [4]. El objetivo de este estudio fue el estudio del movimiento de los plásticos en los océanos.

3. Propósito

Tras ver en detalle la motivación al problema y llevar a cabo investigaciones acerca de los tópicos relacionados con él, se ha visto necesario y útil llevar a cabo dos modelados paralelos para conseguir respuestas a preguntas diferentes. En la siguiente tabla se hace un breve resumen de las diferencias más relevantes que se explicarán con detenimiento más adelante.

Por un lado se llevará a cabo un estudio a cerca del movimiento de los plásticos alrededor de los océanos del planeta, generando para ello un entorno realista de las corrientes en el globo terráqueo. Se estudiará la formación de islas de plásticos alrededor de los continentes y se verá como afecta la biodegradabilidad del plástico a la formación de estas islas. Por otro lado, se llevará a cabo un estudio sobre los microplásticos, se modelará el movimiento de estos en los océanos de manera

	Modelo Plásticos	Modelo Microplásticos
Implementación	Entorno realista de las corrientes alrededor del mundo	Movimiento de los microplásticos
	Movimiento de plásticos en la superficie del océano	Modelar las barreras de coral del mundo
	Modelar la biodegradación de los plásticos	Interacción microplásticos y corales
Objetivo	Estudiar la formación de islas de plástico	Estudiar como afectan los microplásticos a las barreras de coral a lo largo del tiempo

Cuadro 1: Diferencias entre los modelos

análoga al de los plásticos, además se modelará la interacción de estos microplásticos con las grandes barreras de coral del mundo y como afectan a los corales el contacto con estos microplásticos a lo largo del tiempo.

3.1. Modelo 1: Plásticos

En el modelo de los plásticos, se modela el movimiento de los plásticos a través de las corrientes marinas de igual forma que se hace en el modelo original. La variación aparece en las propiedades del plástico. Ahora, en el modelo, se considera que algunos plásticos van a ser biodegradables y otros no. A los plásticos biodegradables se les asignará un tiempo de vida útil (es decir, un tiempo en el que el plástico se va a mover en el océano, en el cual se va a ir “degradando” hasta desaparecer). Este tiempo podrá ser elegido por el usuario, y abarcará entre 3-5 años, 3-7 años o 3-10 años, es decir, todos los plásticos tendrán una vida útil aleatoria entre la franja de años que elija el usuario, y en cada iteración (en cada tick), su vida útil irá reduciéndose 1 unidad. Una vez hecho esto, el plástico se moverá igual que en el modelo original, moviéndose una unidad en cada tick si no se considera la magnitud o si sí se considera la magnitud, las unidades que se obtengan usando la fórmula de Harvensine, siempre que su vida útil no haya acabado, es decir, siempre que siga siendo superior a 3 años. En el caso de los plásticos no biodegradables, no vamos a considerar que se degraden, es decir, se les asignará 10 años de vida útil pero no reducirán su vida útil en cada tick.

3.2. Modelo 2: Microplásticos

En el modelo de microplásticos, se modela el movimiento de microplásticos a través de las corrientes marinas de igual forma que se hace con los microplásticos en el modelo original presumiendo que el plástico genera microplásticos. La variación aparece en el agente coral que interactúa con los microplásticos vecinos. Al coral se le asigna una probabilidad de supervivencia que es afectada por una fórmula en la que dependiendo del umbral y un índice configurable en la interfaz a medida que surjan microplásticos vecinos podrán enfermar y morir desapareciendo del modelo. También se podrá configurar la probabilidad de enfermar iniciar de cada coral. El tiempo de ejecución lo podrá elegir el usuario. Una vez ejecutado, el microplástico se moverá igual que en el modelo original, moviéndose una unidad en cada tick si no se considera la magnitud o si sí se considera la magnitud, las unidades que se obtengan usando la fórmula de Harvensine.

4. Entidades

En este apartado se van a definir las entidades que participan en cada modelo. En el primer modelo participan dos tipos de agentes: el agente mundo, que representa el océano y las zonas de tierra y el agente plástico que representa el plástico en la superficie del océano. En la siguiente figura se puede observar las variables que caracterizan a cada agente y una breve explicación.

Entidad	Variable	Descripción	Unidades
Agente Mundo	área	Área de la tierra	Km ²
	velocidad este	Velocidad de las corrientes oceánicas en la dirección este	km/día
	velocidad norte	Velocidad de las corrientes oceánicas en la dirección norte	km/día
	magnitud	Distancia recorrida por el plástico en un día	km
	dirección	Dirección en la que se mueve el plástico	º
	latitud	Posición en latitud	º
	longitude	Posición en longitud	º
Agente Plástico	latitud	Latitud del plástico	º
	longitude	Longitud del plástico	º
	biodegradabilidad	Diferencia entre plástico biodegradable y no biodegradable	-
	vida útil	Tiempo de vida útil del plástico biodegradable	meses-años

Figura 4: Tipos de agentes en el modelo de plásticos

Como se puede observar, cada agente mundo está caracterizado por 7 variables. La variable *área* que representa el tamaño del área de la tierra en Km^2 , si esta variable tiene un valor negativo, significa que representa océano. Las variables *velocidad este* y *velocidad norte* representan la velocidad de las corrientes oceánicas en las direcciones este y norte respectivamente. Estas variables se miden en $\frac{km}{dia}$.

La variable *magnitud* representa la distancia recorrida por el plástico en un día, y se mide en *km*. La variable *dirección* representa la dirección en la que se mueve el plástico en $^{\circ}$. Por último, las variables *latitud* y *longitud* representan la latitud y longitud del plástico y también se mide en $^{\circ}$. Por otro lado se tiene el agente plástico, las variables que caracterizan a estos agentes son *latitud*, *longitud*, *biodegradabilidad* y *vida útil*. La biodegradabilidad tomará los valores 0, 1 y 2. El valor 1 representará que el plástico es biodegradable, el 2, por su parte, que no lo es. Como en el modelo se podrá incluir plásticos en cualquier momento, se les asigna a cada plástico en el momento de su creación un valor de 0 en la biodegradabilidad (que aparece en el código a través de la variable *p*), y una vez están creados los plásticos, a todo plástico con valor 0 en la biodegradabilidad se les aplicará una función que les asigne 1 o 2 según la cantidad de plásticos biodegradables que el usuario quiera tener en el modelo (y de manera aleatoria, es decir, se tendrá en cuenta cuánto plástico es necesario que haya biodegradable para alcanzar el valor que pide el usuario pero no se podrá elegir cuáles de los plásticos que se insertan van a ser los plásticos que se consideren biodegradables y cuáles no). Respecto a la vida útil, a cada plástico biodegradable se le asignará un tiempo de vida útil aleatorio entre 3 y 10 años, dependiendo de la elección del usuario. Los plásticos no biodegradables por su parte tendrán asignados una vida útil de 100 años, sin que se reduzca a lo largo del modelo.

En el modelo de los microplásticos se tienen tres tipos de agentes: el primero es el agente mundo, análogo al del modelo anterior. En segundo lugar se tiene el agente microplástico que representa a los microplásticos que se encuentran en el océano. Las variables que lo caracterizan son la *latitud* y *longitud* en $^{\circ}$. Además se añade otro agente que representa a los corales, este agente está caracterizado por la *latitud* y *longitud* del coral y la *probabilidad* de que el agente enferme por el contacto con los microplásticos.

En el segundo modelo participan como patch el agente mundo definiendo la representación del océano y las zonas de tierra, el agente microplástico que representa el microplástico a consecuencia del plástico según los dataset y el agente coral que representa a los cúmulos de coral según los dataset. En la figura 5 se puede observar las variables que caracterizan a cada agente y una breve explicación:

Cada agente mundo está caracterizado por 7 variables. La variable *área* que representa el tamaño del área de la tierra en Km^2 , si esta variable tiene un valor negativo, significa que representa océano. Las variables *velocidad este* y *velocidad norte* representan la velocidad de las corrientes oceánicas en las direcciones este y norte respectivamente. Estas variables se miden en $\frac{km}{dia}$. La variable *magnitud* representa la distancia recorrida por el microplástico en un día según las mareas,

y se mide en *km*. La variable *dirección* representa la dirección en la que se mueve el microplástico en $^{\circ}$. Por último, las variables *latitud* y *longitud* representan la latitud y longitud del microplástico y también se mide en $^{\circ}$.

Por otro lado se tiene el agente microplástico, las variables que caracterizan a estos agentes son *latitud* y *longitud*.

Por ultimo se tiene al agente coral donde las variables son *latitud* y *longitud* y además se define una *probabilidad de enfermar inicial* definida en la interfaz cuando se cargan los datos que interactúa con variables globales configuradas en la interfaz.

Las mismas son *indice* que afecta por cada tick a cada coral y su probabilidad de enfermar propia y *umbral* que caracteriza cual sera la probabilidad mínima desde la que son afectados los corales mientras se ejecuta el modelo.

Entidad	Variable	Descripción	Unidades
Agente Mundo	área	Área de la tierra	Km ²
	velocidad este	Velocidad de las corrientes oceánicas en la dirección este	km/día
	velocidad norte	Velocidad de las corrientes oceánicas en la dirección norte	km/día
	magnitud	Distancia recorrida por el plástico en un día	km
	dirección	Dirección en la que se mueve el plástico	$^{\circ}$
	latitud	Posición en latitud	$^{\circ}$
	longitud	Posición en longitud	$^{\circ}$
Agente Microplástico	latitud	Latitud del plástico	$^{\circ}$
	longitud	Longitud del plástico	$^{\circ}$
Agente Coral	latitud	Latitud del coral	$^{\circ}$
	longitud	Longitud del coral	$^{\circ}$
	enfermedad	Probabilidad de que el coral enferme	-

Figura 5: Tipos de agentes en el modelo de microplásticos

4.1. Escalas

Las escalas que se han definido en ambos modelos se muestran en la siguiente imagen.

Como se puede observar, la escala temporal que se usa son los días (cada tick corresponderá un día, aunque tendremos que acelerar el modelo para poder observar qué ocurre) mientras que la escala espacial que se utilizará para representar la distancia recorrida tanto por los plásticos como por los microplásticos se representará en *km*. Además el periodo de observación que se estima para poder llevar a cabo un estudio del comportamiento del modelo será de entre 3-20 años.

Escalas	Descripción
Temporal	Un tick corresponderá a un día
Espacial	kms recorridos
Observación	3-20 años

Figura 6: Escalas usadas para el modelo

5. Resumen del proceso y su planificación

Durante este trabajo, se han considerado dos vías distintas de investigación: el movimiento de los plásticos en el océano, así como la reducción de estos mediante el uso de plásticos biodegradables, y la desaparición de los arrecifes de coral por la presencia de microplásticos en el océano. A lo largo de este apartado, explicaremos en detalle los dos modelos.

5.1. Modelo Plásticos

En el modelo de plásticos, se consideran como ya hemos dicho con anterioridad, plásticos biodegradables y plásticos no biodegradables. La biodegradabilidad del plástico se representa en el modelo con la variable p , y la vida útil con la variable *useful-life*. En el momento en el que los plásticos son insertados en el modelo, se les asigna la variable de biodegradabilidad $p = 0$. Una vez hecho esto, se le asigna longitud y latitud, vida útil y biodegradabilidad (en ese orden). Una vez el plástico queda asignado con una latitud y longitud específica, se les asigna una vida útil que dependerá de la opción que haya elegido el usuario a través del botón presente en el modelo (si es de 3-5 años, a todos los plásticos se les asigna una cifra aleatoria entre estos dos valores, etc). Una vez hecho esto, en función de la cantidad de plástico biodegradable que quiere el usuario que haya en el modelo (el porcentaje que viene en el *layout* de NetLogo como *percentage-bio-plastic*), se asigna a cada plástico $p = 1$ (biodegradable) o $p = 2$ (no biodegradable). A los plásticos que finalmente terminan siendo no biodegradables, se les acaba asignando una vida útil de 10 años que no consideramos que vaya disminuyéndose.

Una vez realizado esto, el plástico se mueve. El movimiento del plástico dependerá de si el plástico es biodegradable o no. Si no lo es, en cada tick, que representa un día, el plástico se moverá una cierta cantidad de unidades, que dependerá de si se considera o no la magnitud en el modelo (si no se considera, el plástico se movería una unidad; si se considera, la cantidad de unidades que se mueve el plástico tendría que ser calculada con la fórmula de Haversine). Si por el contrario, el plástico es biodegradable, antes de que el plástico se mueva se comprobará si su

vida útil es mayor que 0 (es decir, si aún no se ha degradado del todo). Si la vida útil del plástico es menor que 0, el plástico desaparece. Si no, actualiza su vida útil (se le resta una unidad) y se mueve al igual que los no biodegradables, dependiendo de si se considera o no la magnitud en el modelo.

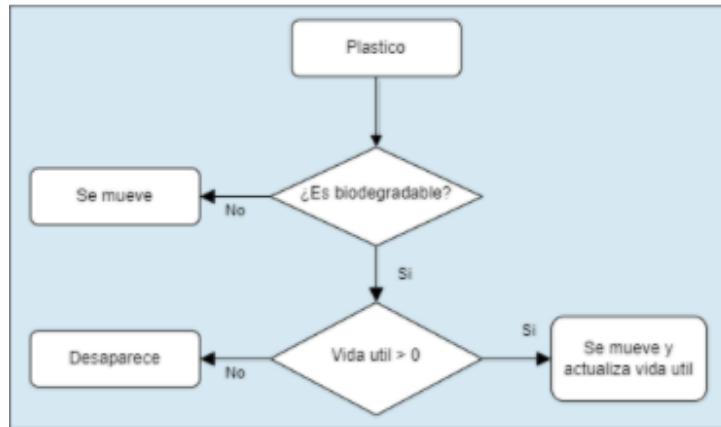


Figura 7: Planificación modelo microplásticos

5.2. Modelo Microplásticos

Como se comentó anteriormente, en el modelo de los microplásticos intervienen dos agentes que cambian dinámicamente, el agente coral y el agente microplástico. Para cada uno de los ticks en la simulación, que corresponden a un día ambos agentes se lleva a cabo la planificación que se muestra en el siguiente diagrama de bloques.

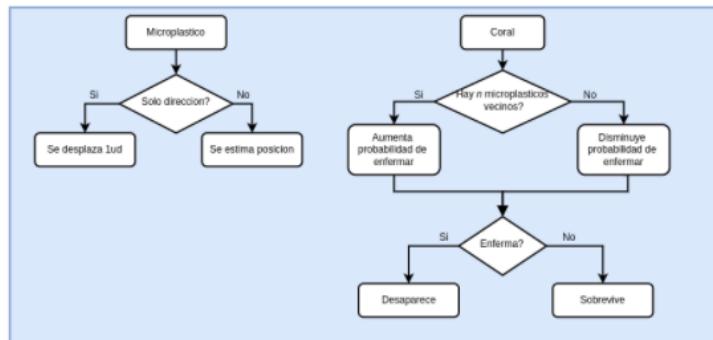


Figura 8: Planificación modelo plásticos

El agente microplástico comprobará si se mueve solo según la dirección o se tiene en cuenta también la magnitud y actuará conforme a ello. El agente coral

comprueba si hay cerca un número n de vecinos microplásticos cercanos a él, según esto aumenta o disminuye afectara la probabilidad de supervivencia del coral según la formula de probabilidad de supervivencia propia de cada agente coral.

6. Conceptos de diseño

Es importante conocer ante que suposiciones nuestro modelo es válido. Para ello en esta sección se plantean las suposiciones que se tienen en cuenta en el modelo.

6.1. Principios fundamentales

En esta apartado, se recogen algunas de las suposiciones que se usan para poder realizar el modelado del mundo, del movimiento de los plásticos, de la biodegradabilidad de estos y de la interacción de corales y microplásticos.

6.1.1. Modelado del mundo

Al modelar el mundo en NetLogo, se le hace corresponder a cada patch una longitud y latitud que se ha supuesto que oscilará entre -180° y 180° y -60° y 72° respectivamente. Además el mapa es continuo de forma de toroide.

6.1.2. Movimiento de los plásticos y microplásticos

En general, los plásticos, en los océanos se mueven por la superficie debido a las corrientes marinas y el flujo de aire sobre la superficie. No se ha tenido en cuenta en el modelado del sistema ciclones, turbulencias u otro tipo de factores que puedan afectar al movimiento. La temperatura del agua, que también puede provocar cambios en el movimiento tampoco se ha tenido en cuenta. Aunque no todos los plásticos flotan, debido a un conocimiento inadecuado de la profundidad a la que puede hundirse un plástico y de los tipos de cuerpos plásticos que afectan a su hundimiento o a su capacidad para flotar, no se dispone de datos que respalden los puntos anteriores, y es problemático determinar el tiempo tras el cual el plástico puede hundirse. Teniendo en cuenta estos puntos, hemos supuesto que todos los plásticos permanecen flotando o mantienen una profundidad constante durante toda la simulación. Al fin y al cabo para el modelado del movimiento del plástico se basa en principios básicos de la física general como la ecuación de Haversine (es utilizada para generar la distancia entre dos puntos de una esfera si es conocida la latitud y longitud de ambos puntos y el diámetro de la esfera) que se explicará con más detalle más adelante en la parte de submodelos.

Las suposiciones de que los plásticos flotan en la superficie también se extiende al modelo de los microplásticos, en el cual también consideramos que los microplásticos flotan y que se mueven por el mismo motivo que los plásticos, por las corrientes marinas. Esto quiere decir que para que hubiese una interacción real entre el microplástico y el coral, debemos considerar también que los corales se encuentran cercanos a la superficie. Estas suposiciones hacen que el modelado no sea del todo fiel a la realidad, y se explican con más detenimiento a continuación en el apartado de interacción microplásticos-corales.

6.1.3. Biodegradabilidad de los plásticos

Los plásticos que se consideren biodegradables tendrán mínimo 3 años de vida útil (es decir, el plástico no va a desaparecer del modelo mínimo en 1095 días, que como nuestros ticks son días, esto quiere decir que el plástico no desaparecerá hasta pasado un mínimo de 1095 ticks). Hacemos esta suposición basándonos en un estudio en el que tres tipos distintos de materiales plásticos degradables son expuestos durante tres años al aire libre, sumergidos bajo el agua o enterrados bajo tierra. El estudio concluye que no se podía considerar que los materiales mostraran un deterioro sustancial durante el período de 3 años en todos los entornos. Además, se considera que el plástico biodegradable no tendrá una vida útil superior a 10 años. Esto se supone ya que no se tiene suficiente información sobre la vida máxima de un plástico biodegradable (depende de muchos factores como la humedad, la exposición al sol, etc) y para poder observar lo que ocurre en un período de tiempo “aceptable”, se ha supuesto que un plástico no sobrevivirá más de 3650 días (3650 ticks). Además, también se ha supuesto que el plástico no biodegradable posee una vida útil de 100 años, aunque realmente no se considera que vaya a desaparecer nunca (no se actualiza su vida útil en el movimiento, es decir, no se le restan unidades, con lo cual el plástico no biodegradable no desaparecerá en ningún momento del modelo, simulando la larga vida que poseen los plásticos no biodegradables).

6.1.4. Interacción microplásticos-corales

Se han usado bases de datos de microplásticos y arrecifes de corales del mundo. Como se ha considerado que el microplástico flota, se ha supuesto que los arrecifes de corales están cerca de la superficie. Para modelar la interacción del coral y el microplástico, se ha considerado que el coral tiene una probabilidad de enfermar que depende de la cantidad de microplástico que tiene alrededor. Esto se basa en estudios [5] que advierten del deterioro de los arrecifes de corales a causa del plástico por contraer enfermedades provocadas por ellos. Tanto la cantidad de vecinos que lo hace enfermar como la probabilidad son valores que se definirán

experimentalmente.

6.2. Emergencia

Los resultados que se esperan modelar como resultado del comportamiento de los agentes son:

- En el caso de los plásticos, flotarán hasta formar cúmulos de plástico en ciertas posiciones. Al incluir plásticos biodegradables, esperamos que estos cúmulos se vean reducidos. Es por ello que, variando el coeficiente de biodegradabilidad asociado a cada plástico, se espera que en un horizonte de tiempo muy largo se disminuyan los cúmulos formados en los giros oceánicos. Las conclusiones y análisis del comportamiento esperado se encuentran en las secciones 9.2.1 y 10.1 de éste documento.
- En el caso de los microplásticos, al igual que con los plásticos, flotarán formando cúmulos de plásticos en los océanos. Además, los arrecifes de corales se verán deteriorados a causa de los microplásticos. Es por ello que variando el umbral, el índice y la probabilidad de supervivencia inicial del modelo, se espera que en un horizonte de tiempo largo disminuyan las poblaciones de coral y si los corales son mas resistentes dada una vecindad menor de microplásticos estos disminuyan su probabilidad de enfermar.

6.3. Adaptación

Las reglas que siguen los individuos para modificar su comportamiento como respuesta a cambios a su entorno y cambios en sí mismo son:

- El comportamiento del agente plástico se verá modificado por las condiciones medioambientales pues el movimiento de los plásticos se ve afectado por los cambios en las corrientes oceánicas. Además, los plásticos biodegradables modifican su comportamiento al alcanzar el máximo de su vida útil, pues desaparecen.
- En el caso de los microplásticos, el comportamiento del agente microplástico se verá modificado por los cambios medioambientales pues su movimiento también depende de las corrientes oceánicas. El comportamiento del agente coral se verá modificado por la presencia de microplásticos en su entorno, pues modificará la probabilidad de que enferme y por tanto muera.

Modelo	Emergencia	Adaptación
Plásticos	Los plásticos se mueven por el océano hasta forma cúmulos en ciertas posiciones.	Comportamiento agente plástico: afectado por los cambios medioambientales y al alcanzar el máximo de su vida útil. Comportamiento agente microplástico: afectado por los cambios ambientales
Microplásticos	Estudiar la formación de islas de plástico	Comportamiento agente coral: afectado por los agentes microplásticos

Cuadro 2: Emergencia y adaptación de ambos modelos

6.4. Objetivos

Los agentes, tanto en el modelo de plásticos como en el de microplásticos, no están programados para conseguir ningún objetivo concreto.

6.5. Aprendizaje

Tanto en el caso del modelo de los plásticos como en el modelo de los microplásticos, los agentes no aprenden, pues no cambian su comportamiento a lo largo del tiempo.

Modelo	Objetivos	Aprendizaje
Plásticos	Los agentes no están programados para conseguir ningún objetivo	Los agentes no cambian su comportamiento a lo largo del tiempo
Microplásticos	Los agentes no están programados para conseguir ningún objetivo	Los agentes no cambian su comportamiento a lo largo del tiempo

Cuadro 3: Objetivos y aprendizaje de ambos modelos

6.6. Predicción

Para predecir las condiciones futuras, los agentes:

- En el caso del modelo de los plásticos, el movimiento de los plásticos viene determinado por la localización del plástico, pues se verá afectado por las corrientes oceánicas que haya en la posición en la que se encuentre. Además, su movimiento se verá afectado si alcanza el máximo de su vida útil.
- En el caso de los microplásticos, el movimiento de los microplásticos depende de la localización de estos según los registros de mareas, y el estado futuro de un agente coral dependerá de la cantidad de microplásticos que tenga en su entorno, que causarán que el agente coral tenga más o menos probabilidad de enfermar.

6.7. Percepción

- En el caso del modelado de los plásticos, los agentes no perciben información.
- En el caso del modelado de los microplásticos los agentes microplásticos perciben las mareas y acompañan las mismas y los agentes corales van a percibir el número de microplásticos que tienen a su alrededor, y esta información influirá en su probabilidad de enfermar.

Cuadro 4: Predicción y percepción

Modelo	Predicción	Percepción
Plásticos	El movimiento de los plásticos dependerá de la localización del plástico y de su vida útil restante	Agente plástico: No percibe información del entorno
Microplásticos	El movimiento de los microplásticos dependerá de la localización del plástico. El estado de los corales dependerá de los microplásticos cercanos	Agente microplástico: No percibe información del entorno. Agente coral: Percibe el número de microplásticos en su alrededor.

6.8. Aleatoriedad

Los datos de los diferentes agentes en los dos modelos se obtienen de datasets que se comentarán más adelante. Entre estos datos se encuentra la localización de los agentes plásticos en el modelo de los plásticos.

- El único proceso aleatorio que se ha considerado en el modelo de plásticos es la determinación de cuáles de estos plásticos van a ser biodegradables y cuáles no, (la localización de los plásticos biodegradables y no biodegradables es aleatoria).
- En el caso de los microplásticos, el único proceso aleatorio que se considera es que el coral finalmente acabe enfermando o no.

6.9. Interacción

- En el modelo de plásticos, los agentes plástico no interactúan con otros agentes plásticos, luego no se consideran interacciones relevantes. La única interacción relevante es entre el agente mundo y el agente plástico, pues determina el movimiento del plástico en cada momento.
- En el modelo de los microplásticos, las interacción más relevante se da entre el agente coral y el agente microplástico. Esta interacción es directa, pues el encuentro de varios agentes microplásticos con el agente coral influye directamente sobre el coral de manera negativa. La interacción entre el agente mundo y el agente microplástico es análoga a la que se da en el modelado de plásticos.

Cuadro 5: Predicción y percepción

Modelo	Aleatoriedad	Interacción
Plásticos	La elección de los plásticos biodegradables y los no biodegradables es aleatoria	Se considera relevante la interacción agente mundo - agente plástico
Microplásticos	Que el coral acabe enfermando o no es aleatorio.	Se considera relevante la interacción coral-microplástico: interacción directa.

6.10. Observación

Los datos que se quieren analizar con estos modelados son:

- En el caso del modelo de plásticos, se pretende analizar los cúmulos de plásticos que se forman a lo largo del océano, su latitud y longitud, que son los

resultados que se puede obtener con el modelo original del que se ha partido, y si al reemplazar el plástico convencional con plástico biodegradable, se consigue rebajar estos cúmulos y reducir el impacto medioambiental que están teniendo los plásticos a nivel global.

- En el caso del modelado de los microplásticos, aunque también se tenga datos sobre los cúmulos de microplásticos que se forman en el océano, se pretende centrar el análisis en el deterioro de los arrecifes de corales a causa de los microplásticos presentes en el mar, que causan diversas enfermedades a los corales.

Modelo	Observación
Plásticos	Se formarán cúmulos de plástico en diferentes lugares, de los que se puede obtener información de su longitud y latitud. Objetivo: Estudio de los cúmulos al considerar plásticos biodegradables.
Microplásticos	Se formarán cúmulos de microplásticos en diferentes lugares, de los que podremos obtener información de su longitud y latitud. Los arrecifes de corales se verán afectados negativamente por los microplásticos. Objetivo: Estudio ambiental del estado de los arrecifes.

Cuadro 6: Observación de ambos modelos

7. Datos de Entrada e inicialización

En el desarrollo de ésta sección, se tratarán cuáles son los datos de entrada al modelo a partir de los cuales representará los procesos que cambian durante el tiempo. Se hablará sobre el origen de cada tipo de dataset y cómo se ha cargado dentro de la simulación. Finalmente, se tratará la inicialización de los modelos. Cuál será el estado de la simulación y los agentes al inicio de la simulación, qué cantidad de agentes habrá o si la simulación será siempre idéntica o cambiará cada vez que se reinicie.

7.1. Modelo Plásticos

7.1.1. Datos de entrada

Para implementar estos datos en NetLogo [6], se necesita tener los datos en forma de *shapefiles* para poder cargarlos en NetLogo. Para convertir los datos

de los distintos datasets en *shapefiles* se utiliza QGIS [7], que es un Sistema de Información Geográfica de Código Abierto, de uso gratuito que puede ser utilizado en cualquier sistema operativo, con el que se puede visualizar, gestionar, editar y analizar datos, y diseñar mapas imprimibles. Finalmente se cargan en NetLogo con la extensión GIS.

En el primer dataset se tiene los datos necesarios para modelar el mundo en NetLogo. Una vez que con QGIS se obtiene el *shapefile* del mapa del mundo, se modeliza la separación de la masa terrestre y de la oceánica. Esto se hace gracias a que el *shapefile* tiene un atributo de área, que se mide en kilómetros cuadrados, y que para los países tiene un valor numérico y para los océanos tiene el valor 0 fijado.

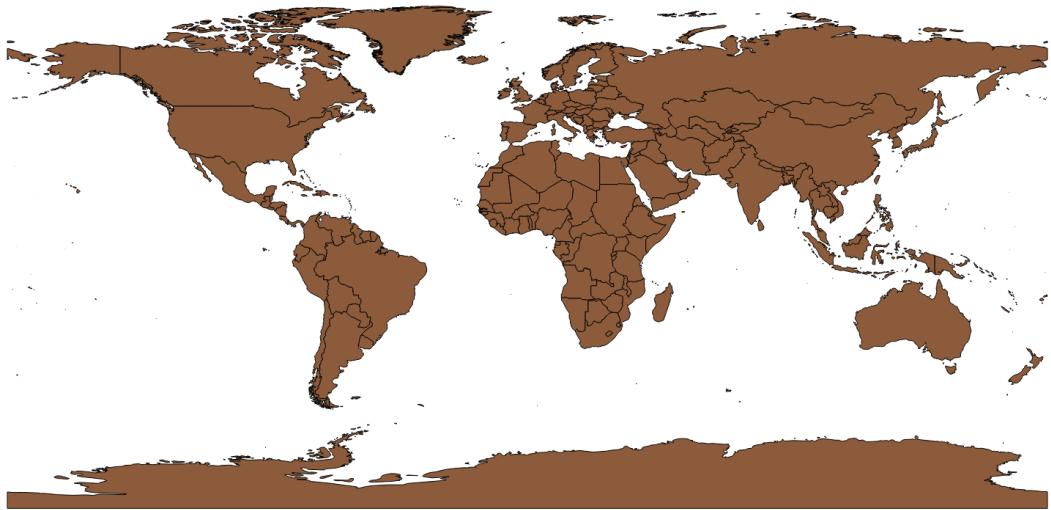


Figura 9: Aspecto del dataset *Countries*

El segundo dataset se utiliza para modelar las corrientes oceánicas. El conjunto de datos [8] se compone de información acerca de las corrientes superficiales obtenida por boyas de navegación de superficie con seguimiento por satélite ("drifters") para el Programa Global Drifter de la NOAA (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Date	Latitude	Longitude	CD1 (km^2)	CD2 (km^2)	CD3 (km^2)	CD4 (km^2)	WD1 (g/km^2)	WD2 (g/km^2)	WD3 (g/km^2)	WD4 (g/km^2)	Sea State	Source	Info
2				335-999 mm	1.00-4.75 mm	4.75-200 mm	>200 mm	335-999 mm	1.00-4.75 mm	4.75-200 mm	>200 mm	(Beaufort Scale)		
3	40422	19.9432	-64.5649	58102.96	21259.89	2226.17		4.45	26.83	4.23		2.5	M. Eriksen	NAG10-SM001
4	40422	20.2173	-64.3828	6639.79	4031.3	1067.11		1.04	28.69	40.79		2	M. Eriksen	NAG10-SM002

Figura 10: Aspecto del dataset *Global Marine Pollution Dataset*

Los datos de este dataset contienen los atributos de la fecha y hora a la que se recogen los datos, temperatura superficial del agua, y velocidad norte y este

que tiene el agua en un lugar concreto que viene dado por su latitud y longitud aunque para el modelado, sólo se consideran los atributos de latitud y longitud de los lugares en los que se tienen datos y la velocidad norte y este del agua en la superficie. De nuevo, usamos QGIS para tener los datos en *shapefiles*, que se cargan en NetLogo con GIS, extensión que también se usa para asignar el sistema de coordenadas latitud-longitud a NetLogo. En los patches de NetLogo (que tendrán una latitud y una longitud concreta) en los que no se tienen datos de las corrientes oceánicas, se le asignan datos con una interpolación usando los datos de los patches vecinos que sí tienen datos.

Por último, se usa el tercer dataset para modelar el estado inicial de los plásticos en el océano. Los datos de los plásticos en el océano de este dataset [9] contiene atributos de fecha de la observación, cantidad de piezas de plástico observadas por kilómetro cuadrado y la longitud y la latitud en la que se hallan las piezas de plástico. En el modelado, el único atributo que no usamos es la fecha. En la siguiente imagen se puede observar los datos de plásticos cargados en QGIS.

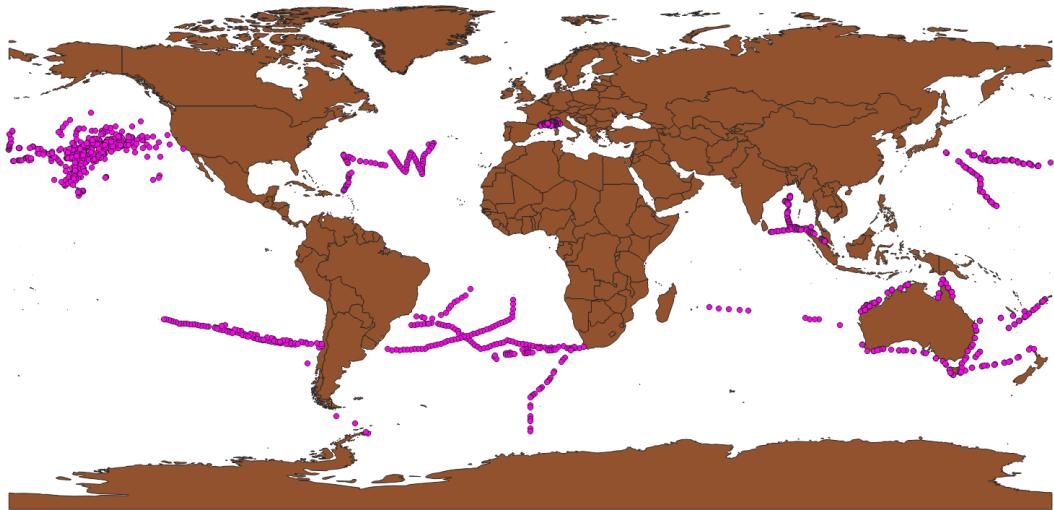


Figura 11: Dataset de plásticos cargados en QGIS

7.1.2. Inicialización

Para inicializar el modelo, es necesario en primer lugar cargar los datos del mundo y de las corrientes marinas. Además, se interpolarán los datos de las corrientes marinas a los patch de los cuales no se tengan datos. Esta configuración será análoga en cada simulación, ya que son datos estáticos.

Tras ello, se deberá elegir uno de los datasets definidos; *atlantic* o *australia*. Otra opción sería añadir a mano los plásticos por el mar de tal manera que se

puedan hacer modificaciones de la situación inicial para distintos datasets. Una vez se han cargado los datasets, a los plásticos se les asigna de manera aleatoria una característica que nos indique si son o no biodegradables y a los plásticos biodegradables un tiempo de vida útil que mínimo será de 3 años y máximo de 20. Esto se muestra en la figura 12.



Figura 12: Esquema de inicialización en el modelo de los plásticos

7.2. Modelo Microplásticos

7.2.1. Datos de entrada

Para el modelado del mapa y de las corrientes oceánicas se emplearán los mismos datasets que en el caso de estudio de lo plásticos.

En cuanto a los microplásticos, se emplearán diversos datasets. Estos datasets contienen las coordenadas de los microplásticos y la cantidad de microplásticos por kilómetro cuadrado. Estos datos de los microplásticos se han obtenido del Centro Nacional para la información del medio ambiente (NCEI): <https://www.ncei.noaa.gov/products/microplastics>.

- *Adventure Scientists* [10]: Datos recogidos en las inspecciones de la iniciativa Adventure Scientists Microplastics sobre la contaminación por microplásticos en los ecosistemas acuáticos entre 2013 y 2017.
- *SEA* [11]: Datos adquiridos de la Expedición 2010 del Proyecto de Plásticos de la Asociación de Educación del Mar (SEA), y del Proyecto de Plásticos de la SEA.
- *GEOMAR* [12]: Datos del proyecto de microplásticos de la Volvo Ocean Race 2017/2018.

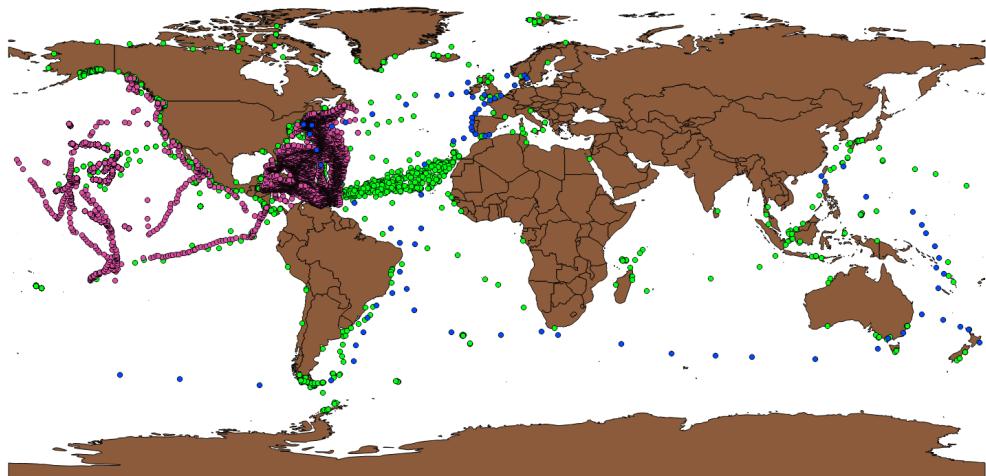


Figura 13: Datasets de los microplásticos

A continuación, se muestran los tres datasets de manera conjunta; en color verde tenemos el de *Adventure Scientits*, en azul el de *GEOMAR* y, en color rosa el creado por *SEA*.

Para conocer los datos sobre los arrecifes de corales del mundo, se ha hecho uso del dataset: *Global Distribution of Coral Reefs* [13]. Este dataset definirá las áreas en las que están los corales, así como su latitud y longitud y el área que ocupan. Cabe destacar que ha sido necesario realizar un preprocesamiento del conjunto de datos para arreglar las áreas que no están bien cerradas y para disminuir el porcentaje de datos, ya que el dataset es muy grande.

Debido a que los microplásticos flotan sobre la superficie marina, se asumirá que los arrecifes de coral están cerca de la superficie.

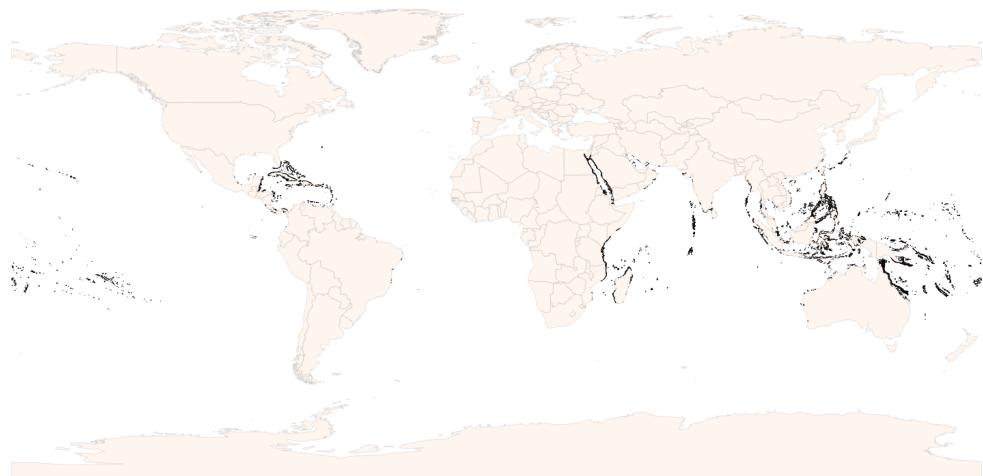


Figura 14: Datasets de los microplásticos

7.2.2. Inicialización

La inicialización de las variables estáticas, como son el mundo o las corrientes, se realizará de manera análoga al modelo anterior. Para inicializar los microplásticos, al igual que en el caso anterior, tendremos tres modos: elegir los datasets predefinidos, de manera manual o de manera aleatoria por el océano.

Cada dataset de microplásticos presenta las siguientes tortugas:

Cuadro 7: Cantidad de agentes microplástico de cada dataset

Dataset	Adventure Scientits	SEA	GEOMAR
Datos			
Cantidad de Microplásticos	17067	+3000000	4308

Tras ello, se cargará el dataset de los corales. Cabe destacar que al cargar este dataset, es necesario filtrar los corales por su área, ya que el dataset contiene cientos de conjuntos y con áreas desde 0.1 km^2 hasta cientos de km^2 . En la tabla 8 se muestra un análisis del número de agentes coral que se cargan en función del filtro del área. Destacar que para cargar los datasets es conveniente incrementar la RAM que trae dedicada NetLogo por defecto.¹

Tras cargar los datasets, para inicializar el modelo, a cada coral se le asignará la probabilidad de enfermar baja y aleatoria, para representar que aún no ha tenido interacción con el microplástico y por tanto el coral está sano en un comienzo. Se configura el valor umbral de probabilidad de supervivencia de corales y el valor del

¹El modo de modificarlo se indica en la siguiente página web: [Documentación NetLogo](#)

Cuadro 8: Cantidad de agentes coral en función del área filtrada

Tamaño area	Dataset	Global Distribution of Coral Reefs
≥ 0.01		16572
≥ 0.1		15048
≥ 5		9083
≥ 20		7291
≥ 50		6627
≥ 80		6430
≥ 120		3823
≥ 150		141

índice que afecta la probabilidad de supervivencia de los corales. Por un lado con el índice afectamos negativamente la posibilidad de enfermar inicial y por otro el umbral es el factor que decide si un coral debe morir o no.

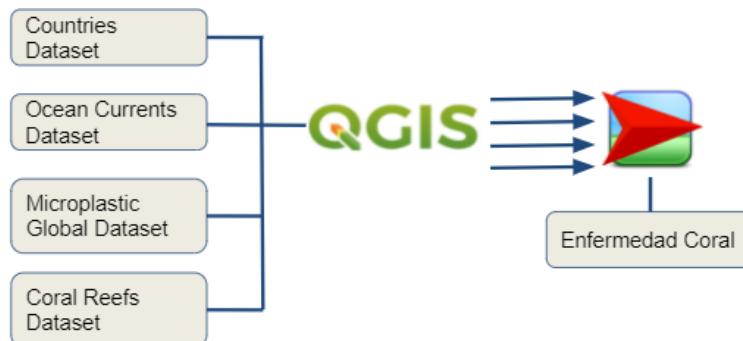


Figura 15: Esquema de inicialización en el modelo de los microplásticos

8. Submodelos

A continuación se tratarán los submodelos que detallan los procesos listados anteriormente. En primer lugar, veremos el submodelo de movimiento, ya que éste submodelo será análogo para los microplásticos y los plásticos. Tras ello, analizaremos los submodelos asociados al caso de estudio de los plásticos y a los de los microplásticos.

8.1. Submodelo de movimiento

En primer lugar, se mostrará un diagrama con el comportamiento de éste submodelo:

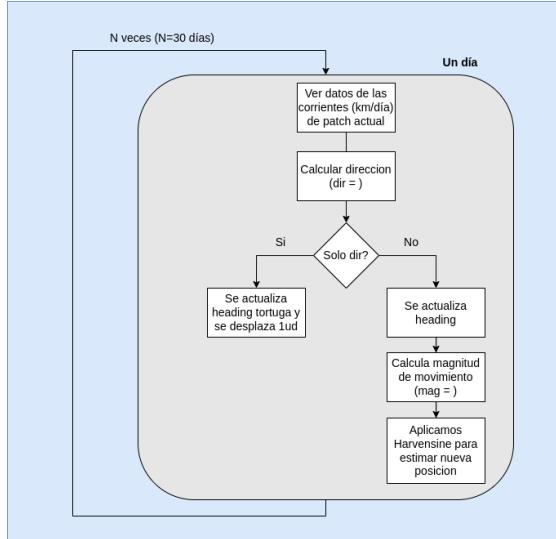


Figura 16: Submodelo de movimiento

Cada tick de simulación corresponde a un día y los datos de corrientes oceánicas que se tienen son en km/día. Para cada día simulado, se moverá cada tortuga del siguiente modo: Se toman las velocidades norte y este del patch en el que se encuentra la tortuga. Con ello, se obtendrá la dirección. En el caso de que no se considere la magnitud, se moverá una unidad en esa dirección. Si se emplea la magnitud del movimiento, empleará la Ecuación Harvensine para estimar la posición de la tortuga. Esta ecuación modela el movimiento de un punto en torno a la superficie de una esfera.

$$\begin{aligned} \phi' &= \sin^{-1} \left(\sin(\phi) \cos \left(\frac{mag}{R_{\text{earth}}} \right) + \cos(\phi) \sin \left(\frac{mag}{R_{\text{earth}}} \right) \cos(dir) \right) \\ \lambda' &= \lambda + \tan^{-1} \left(\frac{\sin(dir) \sin \left(\frac{mag}{R_{\text{earth}}} \right) \cos(\phi)}{\cos \left(\frac{mag}{R_{\text{earth}}} \right) - \csc \sin(\phi) \sin(\phi')} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

8.2. Submodelo de biodegradabilidad

En lo que respecta al submodelo de biodegradabilidad, este se basa en la modificación de los años restantes de vida del plástico en el océano. Para ello, en cada

tick de simulación se evaluará cuántos años le quedan de vida y en el caso en que se quede sin vida útil, se eliminará dicha tortuga asociada.

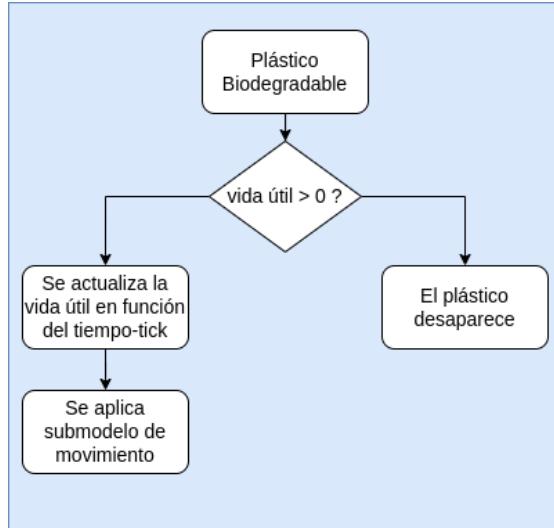


Figura 17: Submodelo de biodegradabilidad

Por lo que, la vida útil o años restantes de vida se modelan del siguiente modo:

$$ar' = ar - \Delta t \quad (2)$$

donde ar son los años restantes de vida (en días) y Δt el incremento de tiempo asociado a cada tick de simulación (un día).

8.3. Submodelo de interacción microplástico-coral

El último submodelo que trataremos será el de la interacción entre el microplástico y el coral. Se modelará la probabilidad de enfermar de un coral en función de un cierto índice de experimental y el número de microplásticos que tiene en cierto radio, es decir, en su entorno. En cada tick de simulación, se evaluará si debido a los factores ambientales el coral enferma o no. En la figura 18 se muestra el diagrama del submodelo:

Por lo que, la probabilidad de que un coral enferme debido a los microplásticos de su entorno, se define del siguiente modo:

$$prob' = n_{nmp} * indice_{prob} * prob \quad (3)$$

dónde n_{nmp} es el número de microplásticos que posee en su entorno y $indice_{prob}$ es un índice ingresado acompañado de una conversión a probabilidad que se definirá

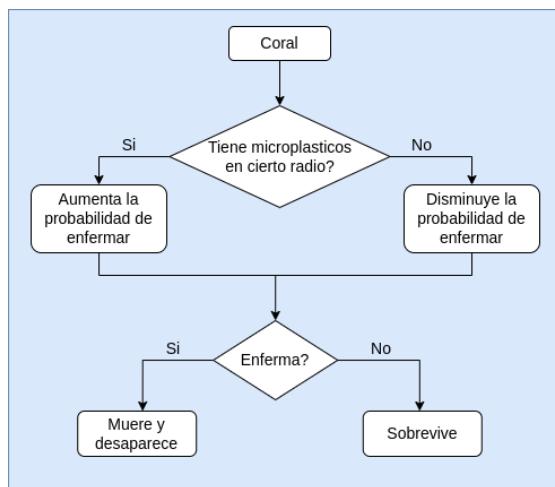


Figura 18: Submodelo de interacción microplástico-coral

experimentalmente para modificar la probabilidad que tiene un coral de enfermar.

El condicional enfermar en si mismo es la comparación entre el *umbral* configurado experimentalmente y *prob'*.

9. Simulación y experimentación

En primer lugar, se expondrán los experimentos que se van a realizar para demostrar la validez del modelo. Posteriormente, se analizarán los resultados de las simulaciones realizadas y si el modelo es válido.

9.1. Definición de experimentos

En el caso del modelo del plástico, uno de los casos que se busca analizar si gracias a la utilización de plásticos biodegradables se contribuiría a la eliminación de la Gran Mancha de Basura que se encuentra en el giro del Pacífico Norte. Como se puede ver en esta imagen, el giro del pacífico norte es un bucle que se produce en las corrientes marinas. Se evaluará si el uso de materiales biodegradables y la modificación de los años de vida de los plásticos antes de desaparecer ayuda a la reducción de éstas islas de plástico.

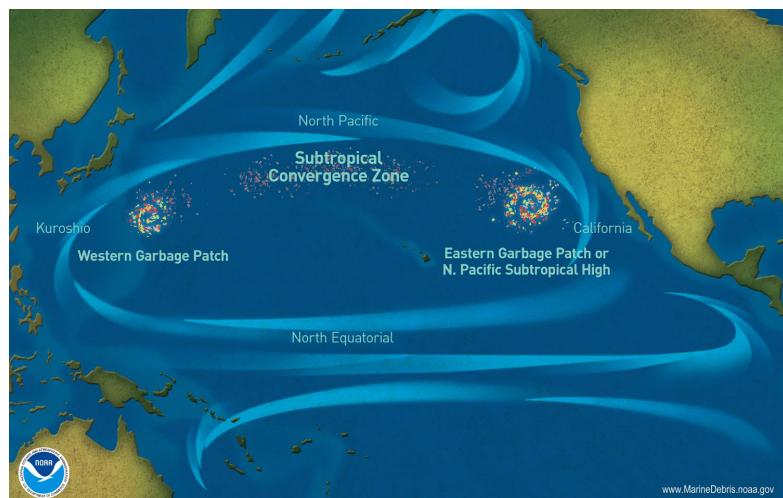


Figura 19: Giros del pacífico norte y las islas de basura

En cuanto al modelo de la interacción entre el microplástico y los corales, se buscará corroborar los datos que existen respecto al riesgo de los arrecifes de corales. Según el *World Resource Instute*, gran parte de los arrecifes de coral de la región Indico-Pacífica, se encontrarán en grave peligro de desaparecer en una horquilla de 20 o 30 años. En la figura 20 se muestra una representación a lo largo del tiempo de estos datos.

También nos apoyaremos en los datos proporcionados por [5]. En éste artículo, se realiza un análisis de cómo los residuos de plástico afectan a las enfermedades de los arrecifes de coral.

Se realizará un estudio del efecto de los microplásticos en la salud de los arrecifes de

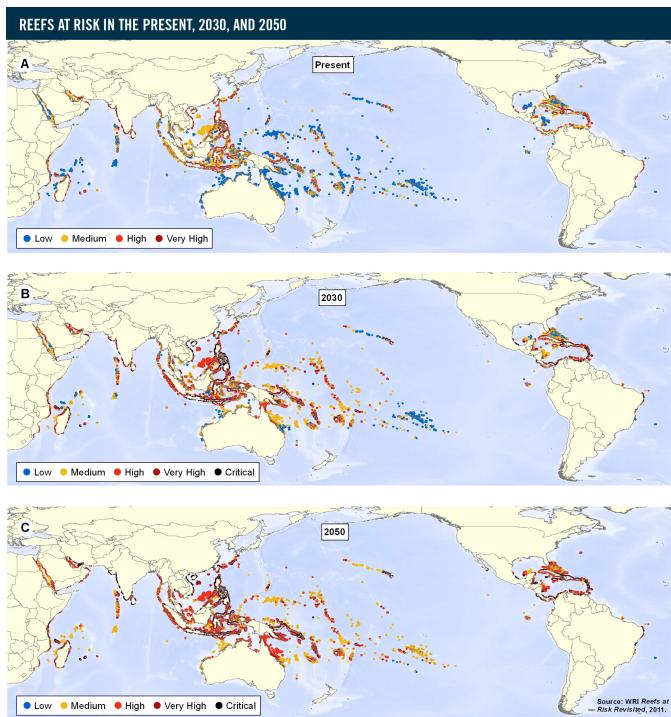


Figura 20: Estimación de la vida de los arrecifes de coral

coral en función de la probabilidad inicial de supervivencia y el umbral a partir del cuál éstos corales enferman. A partir de éstos estudios se podrán evaluar los datos expuestos anteriormente, pero a pequeña escala ya que el horizonte de tiempo que se analizará serán 5 años.

9.2. Realización de experimentos

9.2.1. Modelo plásticos

El *layout* de NetLogo es el mostrado en la figura 21:

En la zona de la derecha, se tendrá el mapa del mundo sobre el cuál se realizarán las simulaciones. En él, se representarán los agentes plástico y se emularán las corrientes marinas. En la izquierda, tenemos una botonera para la configuración de la simulación. Podremos configurar el mapa y las corrientes, cargar diferentes datasets de plásticos o añadirlos manualmente. Se podrá elegir, mediante un *switch*, si se modela el movimiento de los plásticos empleando desplazamientos unitarios o la ecuación Harvensine. Además de ello, se podrá elegir el porcentaje de biodegradabilidad del plástico y los años de vida útil.

El experimento a realizar para evaluar el modelo es el siguiente: A partir del

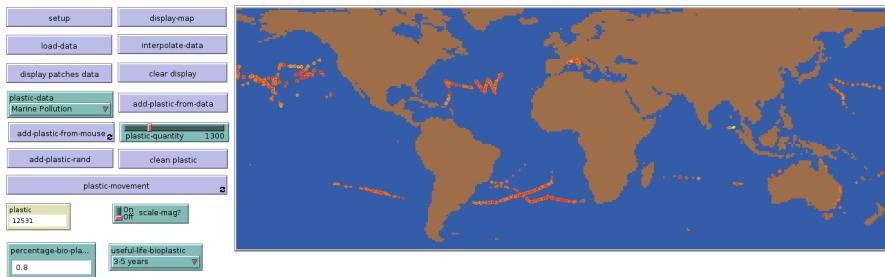


Figura 21: *Layout* de NetLogo para el modelo de los plásticos

dataset de plásticos cargados en la figura 21, se evaluará el número de plásticos que quedan vivos tras 10 años de simulación. Esto se traduce en 3650 ticks, ya que un tick es un día. En la tabla que se muestra en 9, se irán evaluando la cantidad de agentes plástico que quedan al paso de los años. Inicialmente se tendrán 12531 agentes y tras 3650 tick de simulación la disposición es la mostrada en la figura 22.

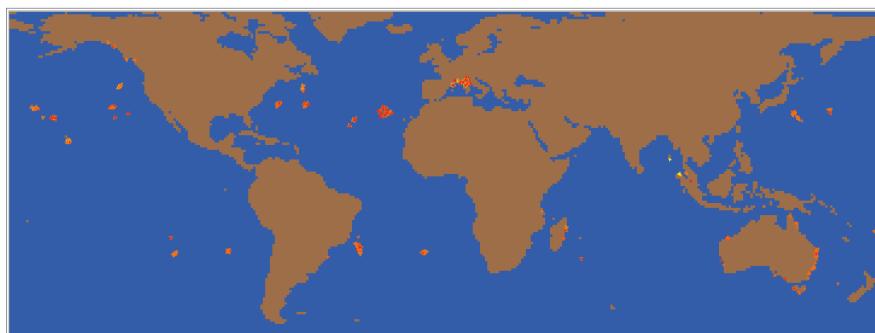


Figura 22: Distribución de los plásticos por el océano tras 10 años si ninguno es biodegradable

Se puede observar, cómo era de esperar, que al incrementar el coeficiente de biodegradabilidad de los plásticos, tras 10 años tendremos un menor número de ellos. Con ésto, se pone de manifiesto que a muy largo plazo, el uso de plásticos con un porcentaje de biodegradabilidad ayudará a disminuir las islas de basura de plásticos que se encuentran en los giros oceánicos. Destacar también, que el efecto de la vida útil se evaluará a corto plazo, con otro experimento ya que a largo plazo no es importante que el plástico desaparezca en 5 o 7 años, sino que lo haga.

En lo referente a la distribución de éstos plásticos por los giros oceánicos, se muestra en la figura 23 la disposición del mapa con un porcentaje de biodegradabilidad de 0.7. Aunque se hayan apelmazado en los mismos sitios, la cantidad de plástico es muy inferior. Con ello también se verifica que esta cantidad dismi-

Cuadro 9: Cantidad de agentes plástico en función del coef. de biodegradabilidad

	Coef. Biodegra-dabilidad	Vida útil [años]	Numero de plásticos tras 10 años
Test 1	0.0	100	12531
Test 2	0.3	3-5	8772
Test 3	0.5	3-5	6226
Test 4	0.7	3-5	3760

nuirá en las localizaciones de las islas de basura, que es donde los llevan los giros oceánicos.

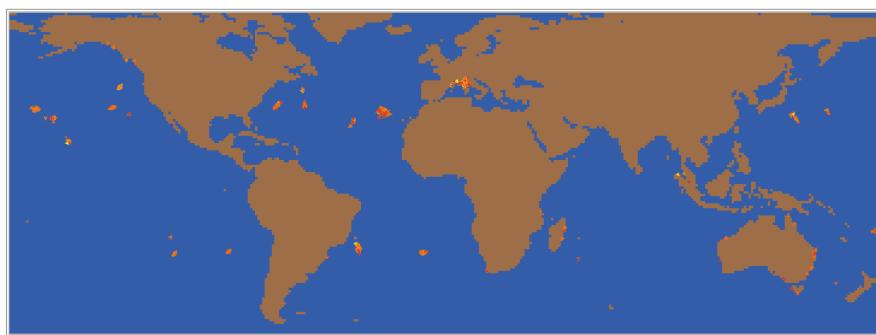


Figura 23: Distribución de los plásticos por el océano tras 10 años con 0.7 de biodegradabilidad

9.2.2. Modelo microplásticos

El *layout* de NetLogo es el mostrado a continuación:

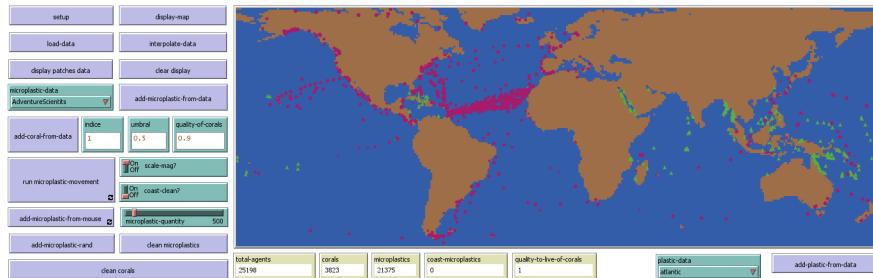


Figura 24: *Layout* de NetLogo para el modelo de los microplásticos

El mapa empleado para realizar la simulación, es el mismo que en el modelo anterior. Sin embargo, en éste caso se cargarán agentes microplásticos y agentes coral con distintas configuraciones según el cuadro 10. Los dataset utilizados para generar los microplásticos son los de *GEOMAR* y *AdventureScientits*.

El experimento a realizar para evaluar el modelo es el siguiente: A partir del setup inicial y la definición del mundo, se agregan los dataset de *GEOMAR* y *AdventureScientits* generando 21375 agentes-microplástico.

Luego se configuran los valores del *indice*, *umbral*, *quality_of_corals* (indica la probabilidad de enfermar inicial) y se agregan los corales generando 3823 agentes. Luego, activamos *scale – mag* y desactivamos *coast – clean*. La evaluación se realizó con 1825 ticks que representan 5 años en todos los Test.

Los valores que se probaron y los resultados del porcentaje de corales supervivientes se pueden verificar en el cuadro 10:

	Probabilidad inicial de supervivencia [%]	Índice de afección por tick [%]	Umbral por el cual enferman [%]	Porcentaje de corales supervivientes [%]
Test 1	0.7	1	0.5	0.803
Test 2	0.8	1	0.5	0.740
Test 3	0.9	1	0.5	0.691
Test 4	0.7	1	0.6	0.898
Test 5	0.8	1	0.6	0.827
Test 6	0.9	1	0.6	0.765

Cuadro 10: Configuración de Test

En lo referente a la distribución de estos corales afectados por los microplásticos, se muestra en las figuras 25, 26, 27, 28, 29, 30 la disposición de los mismos en color amarillo por cada test realizado. Hay que considerar que aunque se hayan agrupado los microplásticos según las corrientes oceánicas los corales afectados están dispersos en todo el mundo verificando en todas las pruebas gran similitud con las investigaciones previas.

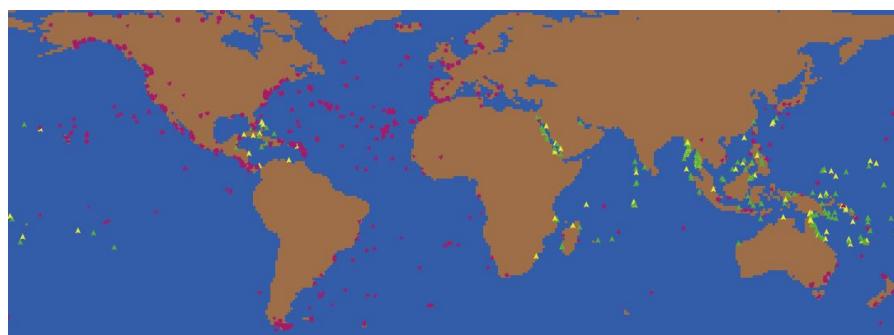


Figura 25: Distribución de los corales (verde), los afectados por los microplásticos (amarillo), los microplásticos (magenta) Indice 1, Umbral 0.5 Probabilidad 0.7

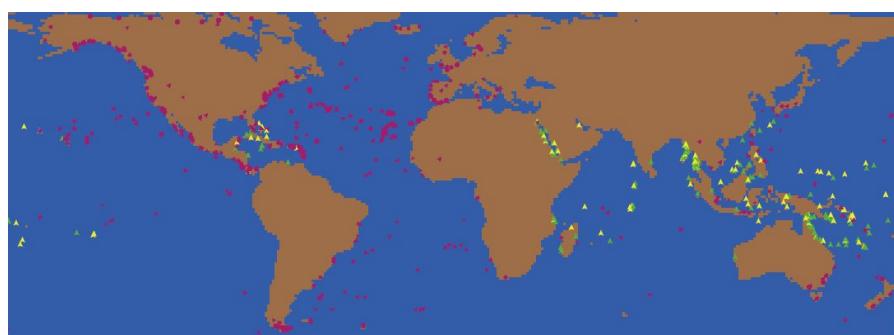


Figura 26: Distribución de los corales (verde), los afectados por los microplásticos (amarillo), los microplásticos (magenta) Indice 1, Umbral 0.5 Probabilidad 0.8

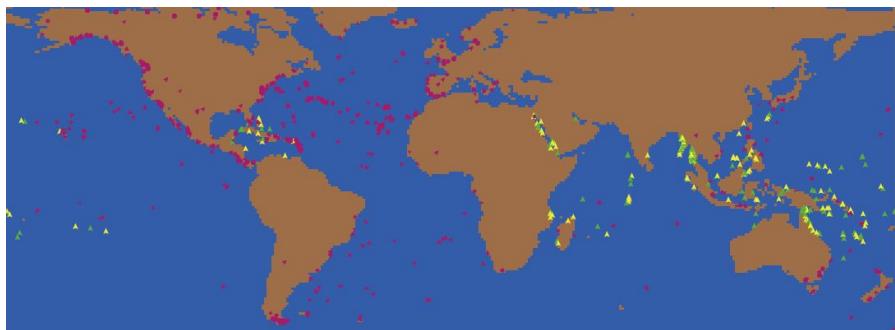


Figura 27: Distribución de los corales (verde), los afectados por los microplásticos (amarillo), los microplásticos (magenta). Índice 1, Umbral 0.5 Probabilidad 0.9

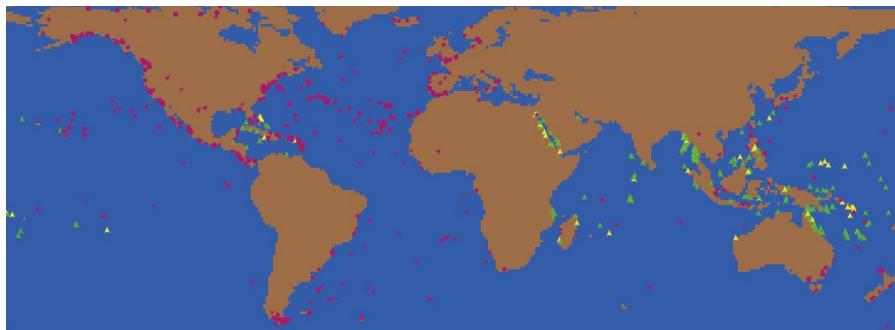


Figura 28: Distribución de los corales (verde), los afectados por los microplásticos (amarillo), los microplásticos (magenta). Índice 1, Umbral 0.6 Probabilidad 0.7

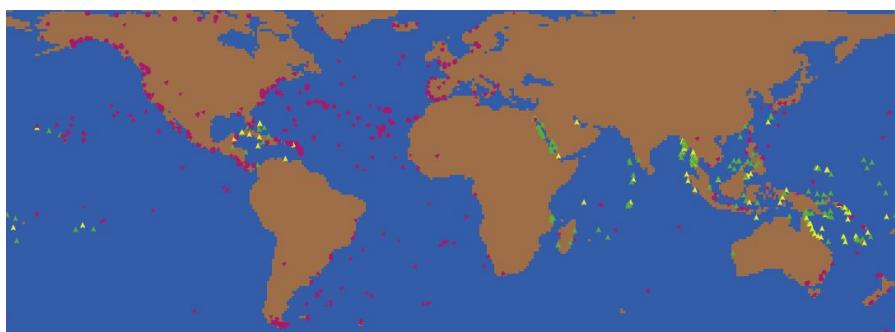


Figura 29: Distribución de los corales (verde), los afectados por los microplásticos(amarillo), los microplásticos (magenta). Índice 1, Umbral 0.6 Probabilidad 0.8

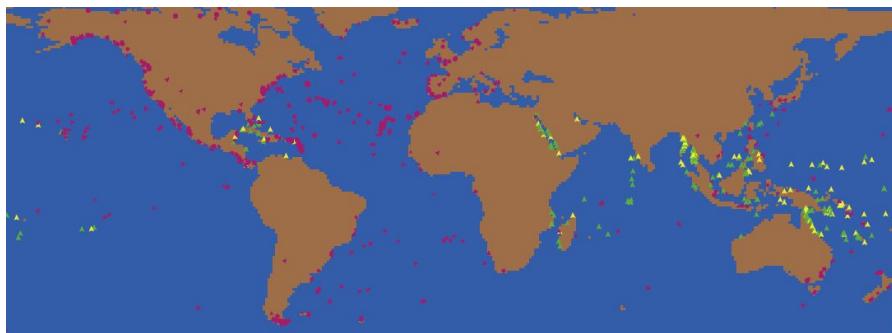


Figura 30: Distribución de los corales (verde), los afectados por los microplasticos (amarillo), los microplásticos (magenta). Índice 1, Umbral 0.6 Probabilidad 0.9

10. Análisis del modelo y conclusiones

Por último, se analizará si a través de los estudios realizados, se han logrado los resultados esperados de los modelos y una serie de conclusiones respecto a ellos. Al igual que la mayor parte de éste documento, se hablará de cada modelo de manera independiente.

10.1. Modelo de plásticos

En este modelo, se ha analizado tanto el movimiento de los plásticos debido a las corrientes oceánicas como el efecto de la inserción de un coeficiente de biodegradabilidad en estos. Se observa que, como se definió anteriormente, los plásticos tenderán a zonas localizadas debido a las corrientes oceánicos y los giros y que, gracias a la inserción de dicho coeficiente, en un horizonte de 10-15 años será posible disminuir el tamaño de las islas de basura del océano.

10.2. Modelo de micro-plásticos

En este modelo, se ha analizado tanto el movimiento de los microplásticos como su interacción con los corales. Se observa que, a mayor probabilidad de supervivencia de los corales mayor es la cantidad de corales susceptibles de tener microplásticos vecinos y dada esas condiciones es mayor la cantidad de corales que pueden enfermar y morir. Por otro lado si los corales son mas resistentes y pueden alimentarse de los microplásticos la probabilidad de supervivencia general aumenta en cada test evaluado en un periodo de 5 años.

Referencias

- [1] Wikipedia. Friendly Floatees. https://es.wikipedia.org/wiki/Friendly_Floatees.
- [2] Curtis C. Ebbesmeyer. Beachcombing Science from Bath Toys. <http://beachcombersalert.org/RubberDuckies.html>.
- [3] World Economic Forum. 2050: más plásticos que peces en los océanos. <https://es.weforum.org/agenda/2018/06/2050-mas-plasticos-que-peces-en-los-oceanos/>.
- [4] Murukutla S.A.; Koushik S.B.; Chinthala S.P.R.; Bobbillapati A.; Kandaswamy S.; Dignum F.; Corchado J.M.; De La Prieta F. (eds). A simple agent based modeling tool for plastic and debris tracking in oceans. Advances in Practical Applications of Agents, Multi-Agent Systems, and Social Good. The PAAMS Collection. PAAMS 2021. Lecture Notes in Computer Science, vol 12946. Springer, Cham.
- [5] Joleah B. Lamb, Bette L. Willis, Evan A. Fiorenza, Courtney S. Couch, Robert Howard, Douglas N. Rader, James D. True, Lisa A. Kelly, Awaludinnoer Ahmad, Jamaluddin Jompa, and C. Drew Harvell. Plastic waste associated with disease on coral reefs. *Science*, 359(6374):460–462, 2018.
- [6] NetLogo. NetLogo ORG. <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>.
- [7] QGIs. QGIS ORG. <https://www.qgis.org/es/site/>.
- [8] NOAA. Ocean Currents Dataset. <https://www.ncei.noaa.gov/products/global-ocean-currents-database>.
- [9] Markus Eriksen. Plastic Marine Pollution Global Dataset. https://figshare.com/articles/dataset/Plastic_Marine_Pollution_Global_Dataset/1015289/1.
- [10] NOAA National Centers for Environmental Information. Nadventure scientists (2020). microplastics collected from adventure scientists-global microplastic volunteer initiative in global ocean from 2013-07-01 to 2017-03-30.
- [11] Gutekunst. Sören Björn; Raimund. Stefan; Tanhua. Toste. Sea surface salinity and temperature, microplastics, pco2 and chlorophyll collected from turn the tide on plastic and akzonobel and meteorologic data collected by turn the tide on plastic, dongfeng race team and 5 other teams during the volvo ocean race 2017-2018 in the mediterranean sea, the north and south atlantic ocean,

south indian ocean, west and south pacific ocean and others from 2017-10-22 to 2018-07-06.

- [12] Lavender Law. Kara; Morét-Ferguson. Skye; Maximenko. Nikolai; Proskurowski. Giora; Peacock. Emily; Hafner. Jan; Reddy. Christopher. Plastic collected from ssv corwith cramer in north atlantic subtropical gyre from 1986-10-15 to 2008-12-20.
- [13] Green EP IMaRS-USF; IRD; Spalding MD, Ravilius C. Global distribution of warm-water coral reefs, compiled from multiple sources including the millennium coral reef mapping project.