



Comportamientos humanos en situación de desastre : de la observación a la modelización conceptual y matemática

Damienne Provitolo, Edwige Dubos-Paillard, Rodolphe Charrier, Nathalie Verdière, Valentina Lanza, Cyrille Bertelle, M.A. Aziz alaoui

► To cite this version:

Damienne Provitolo, Edwige Dubos-Paillard, Rodolphe Charrier, Nathalie Verdière, Valentina Lanza, et al.. Comportamientos humanos en situación de desastre : de la observación a la modelización conceptual y matemática. Cybergeog : Revue européenne de géographie / European journal of geography, 2021, 735, <10.4000/cybergeog.37495>. <hal-03323387>

HAL Id: hal-03323387

<https://hal.science/hal-03323387v1>

Submitted on 14 Dec 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Comportamientos humanos en situación de desastre: de la observación a la modelización conceptual y matemática

Damienne Provitolo, Edwige Dubos Paillard, Nathalie Verdière, Valentina Lanza, Rodolphe Charrier, Cyrille Bertelle y M.A. Aziz Alaoui

Traductor: Francisco Maturana



Edición electrónica

URL: <https://journals.openedition.org/cybergeog/37495>

DOI: 10.4000/cybergeog.37495

ISSN: 1278-3366

Editor

UMR 8504 Géographie-cités

Este documento es traído a usted por École des hautes études en sciences sociales (EHESS)



Referencia electrónica

Damienne Provitolo, Edwige Dubos Paillard, Nathalie Verdière, Valentina Lanza, Rodolphe Charrier, Cyrille Bertelle y M.A. Aziz Alaoui, «Comportamientos humanos en situación de desastre: de la observación a la modelización conceptual y matemática», *Cybergeog: European Journal of Geography* [En línea], Sistemas, Modelística, Geoestadísticas, documento 735, Publicado el 18 agosto 2021, consultado el 13 diciembre 2021. URL: <http://journals.openedition.org/cybergeog/37495> ; DOI: <https://doi.org/10.4000/cybergeog.37495>

Este documento fue generado automáticamente el 13 diciembre 2021.



La revue *Cybergeog* est mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution 4.0 International.

Comportamientos humanos en situación de desastre: de la observación a la modelización conceptual y matemática

Damienne Provitolo, Edwige Dubos Paillard, Nathalie Verdière, Valentina Lanza, Rodolphe Charrier, Cyrille Bertelle y M.A. Aziz Alaoui

Traducción : Francisco Maturana

NOTA DEL EDITOR

Este artículo es una traducción de: Les comportements humains en situation de catastrophe : de l'observation à la modélisation conceptuelle et mathématique

Los autores agradecen a la Mission pour l'interdisciplinarité del CNRS por financiar la realización de esta investigación en el marco del Peps Humanité -Mathématiques - sciences de l'Information (HuMaIn 2013 y 201).

Introducción

- 1 El estudio del comportamiento humano es un antiguo campo de investigación que se estudiaba particularmente desde el prisma de la filosofía y medicina. Desde el siglo XIX y sobre todo en el siglo XX, distintas disciplinas, como la etología, psicología, neurociencias, pero también más recientemente algunas áreas de la sociología, antropología, economía, geografía y algunas ciencias de la educación, han hecho progresar el conocimiento en este campo. Así, numerosas investigaciones se han realizado desde la economía para comprender de mejor manera los comportamientos del consumidor, con el fin de identificar las expectativas del cliente. En psicología y sociología se han realizado estudios con el fin de comprender los comportamientos en

el contexto laboral e identificar eventuales disfuncionamientos profesionales. Incluso, y como último ejemplo, en neuropsicología se han estudiado las relaciones establecidas entre el cerebro, funciones cognitivas y el comportamiento. Por otro lado, en el campo de estudio del riesgo de desastres, el análisis de los comportamientos humanos ha sido marginal. Las investigaciones privilegiaron durante mucho tiempo el estudio del riesgo bajo la mirada de las amenazas, no llegando a comprender el comportamiento humano y el rol de las interacciones durante un evento, lo cual constituiría un avance sustancial en la gestión de crisis y protección de la población civil.

- 2 Las investigaciones sobre comportamientos humanos en situación de desastre¹ y por tanto bajo estrés se llevan a cabo bajo estos ejes:
- 3 *La observación de las reacciones durante un evento específico.* Podemos citar, sin ser exhaustivos, los trabajos sobre las reacciones de la población durante los bombardeos aéreos durante la segunda guerra mundial (Janis, 1951). También estudios sobre el análisis y la comparación de las percepciones de los eventos naturales en el mundo realizadas en el marco del programa MAB² de la UNESCO (Whyte, 1978), como por ejemplo el estudio sobre el terremoto de Loma Prieta en 1989 (Bourque y Russel 1994; Mileti, 1991), sobre los deslaves de barro en Venezuela en 1999 (Revet, 2009), el atentado terrorista del World Trade Center en septiembre 2001 (Ripley, 2008), el estudio sobre la crecida en septiembre 2002 del río Gard (Ruin, 2010), el tsunami en el Océano Índico (Leone et al, 2010), el ciclón Katrina en 2005 (Barsky et al, 2006) o incluso el estudio sobre la erupción volcánica del Karthala en 2006 (Morin et al, 2009).
- 4 *Análisis de un comportamiento tipo* como por ejemplo el saqueo o el pánico (Crocq, 2013; Hagenauer et al, 2011; Quarantelli, 2008; Provitolo, 2005; Helbing et al., 2000).
- 5 Por lo tanto, los objetivos científicos difieren: en el primer caso, trata de comprender el panel de reacciones en el comportamiento que se puede producir. Se busca poner en perspectiva los comportamientos unos en relación con los otros y de cuantificarlos. En el segundo caso, se trata de identificar, incluso demostrar, la existencia de la recurrencia de un comportamiento durante eventos diferentes, revelar las causas, mecanismos generales y describir las diferentes formas.
- 6 Estos análisis se sostienen principalmente en una investigación empírica basada en el levantamiento de información de fuentes ya sea como las escritas por historiadores, testimonios (textos de escritores en antiguos eventos, realización de investigaciones antes y/o posteriores de un desastre contemporáneo), observación efectuada por los rescatistas, periodistas en terreno o por el análisis de fotografías o videos que permitan identificar las reacciones humanas durante los desastres. Las catástrofes, se han incrementado desde la década de 1970 (SwissRe, 2012), pero con un estancamiento en el número de eventos desde hace una decena de años y una reducción en pérdidas humanas (Dauphiné, Provitolo, 2013), lo que desgraciadamente transforman al planeta en un verdadero laboratorio *en vivo*. Pero, contrariamente a las geo-ciencias que, gracias al aumento de la capacidad de observación física, pueden instrumentalizar la Tierra y obtener datos continuos y en tiempo real sobre el número de amenazas (principalmente sobre los terremotos gracias a los captores sísmicos), es complejo instrumentalizar en continuo a los seres humanos en la espera de un evento catastrófico o en cuanto a evitar alguno (salvo si se quisiera proyectarse en el mundo futurista de J. A. Cardon³). Así mismo, es difícil crear artificialmente un desastre, lo que reduce la posibilidad de observar, a partir de criterios científicos, las conductas humanas. Además, a los límites inherentes en la toma de datos en observación, existe el

problema subyacente a esta recolección de información sobre los comportamientos individuales y colectivos de las personas, al entregar esencialmente una información estática, puntual y contextualizada. Esto dificulta observar la diversidad de reacciones humanas, adaptadas o no a la situación, que se pueden producir durante un desastre y sobre todo considerar las secuencias en sus comportamientos. En tal sentido, las investigaciones en neurociencias indican que el ser humano no se comporta solo de una manera; se observa más bien un encadenamiento de reacciones y comportamientos. Las primeras expresan generalmente reacciones instintivas (Laborit, 1994), estas dejan paso a reacciones razonadas (Georges y Gamond, 2011) en las regiones del cerebro implicadas en el tratamiento de la información (cerebro reptiliano, límbico o neocórtex) (Noto *et al.*, 1994 ; Soussignan 2011 ; Brosch y Sander, 2011). Son justamente estas secuencias de comportamiento con encadenamientos instintivos o racional/razonados⁴ provocados por un evento que han llamado nuestra atención.

- 7 Esto hace plantearse la siguiente pregunta: ¿cuál es la mejor forma de definir las reacciones humanas, que siendo complejas y difíciles (Crocq, 1994), están fuera del alcance de los procesos experimentales del tipo en vivo o en vitro? Frente a este hecho, nuestra elección se dirigió hacia métodos alternativos, basados en enfoques matemáticos y metodologías *in silico* (Agbossou *et al.*, 2008). Se busca crear modelos matemáticos para simular posibles escenarios de evolución haciendo variar diferentes parámetros o una condición inicial. Así, el computador se vuelve un laboratorio virtual del investigador y la simulación se entiende como una experimentación sobre un modelo, una experiencia numérica (Colonna, 1993). Se desarrolla la idea del computador macroscópico propuesta por J. de Rosnay (1975), en el sentido en que el computador, gracias a sus capacidades de simulación, es una «*herramienta de observación directa de la complejidad*» (de Rosnay, 1995).
- 8 Por lo tanto, en este artículo, presentamos nuestros resultados de investigación⁵ relativos a la modelización conceptual y matemática de las diferentes secuencias de comportamientos humanos colectivos⁶ susceptibles de producirse durante un evento de desastre. Mostramos que estas secuencias difieren en función de las interacciones entre individuos, el efecto dominó y la educación de la población (Burton *et al.*, 1978) para hacer frente a eventos catastróficos.
- 9 En una primera parte se expone el panorama de los distintos comportamientos humanos en situaciones excepcionales frente a un desastre. Posteriormente se presentan tres reacciones colectivas que retienen nuestra atención: los comportamientos reflejos, de pánico y los controlados. Finalmente, en una tercera se formaliza y discute la modelización gráfica y matemática de estos tres meta-comportamientos.

Panorama de los comportamientos humanos en contexto excepcional de desastre

- 10 La situación excepcional de desastre suscita comportamientos que están en ruptura con los comportamientos cotidianos (Noto *et al.*, 1994); son por naturaleza variados; pueden ser aislados o colectivos; evolucionar en el transcurso del tiempo (encadenamiento de comportamientos) y tienen una duración limitada. Por lo tanto, estos son discretos en el sentido en que presentan un principio y final claramente observable (Rivière, 2006). Además, están asociados a una presión hostil del medio ambiente, frecuentemente

brutal e imprevisto (por ejemplo, terremotos, tsunamis locales) y en ocasiones continuos (por ejemplo, algunos tipos de sequía), que imponen nuevas formas de actuar en estado de estrés.

- 11 Con el fin de posicionar nuestra investigación en el estado del conocimiento, comenzamos por precisar la noción de los comportamientos humanos y los factores que influyen en estos últimos en situación de desastre. Posteriormente, se presentan el panel de reacciones humanas que pueden producirse, los cuales posibilitan organizar este conocimiento bajo la forma de una tipología. Esta rápida revisión, permite especificar nuestras opciones consideradas en cuanto a las reacciones a modelizar y los parámetros a integrar en tal proceso.

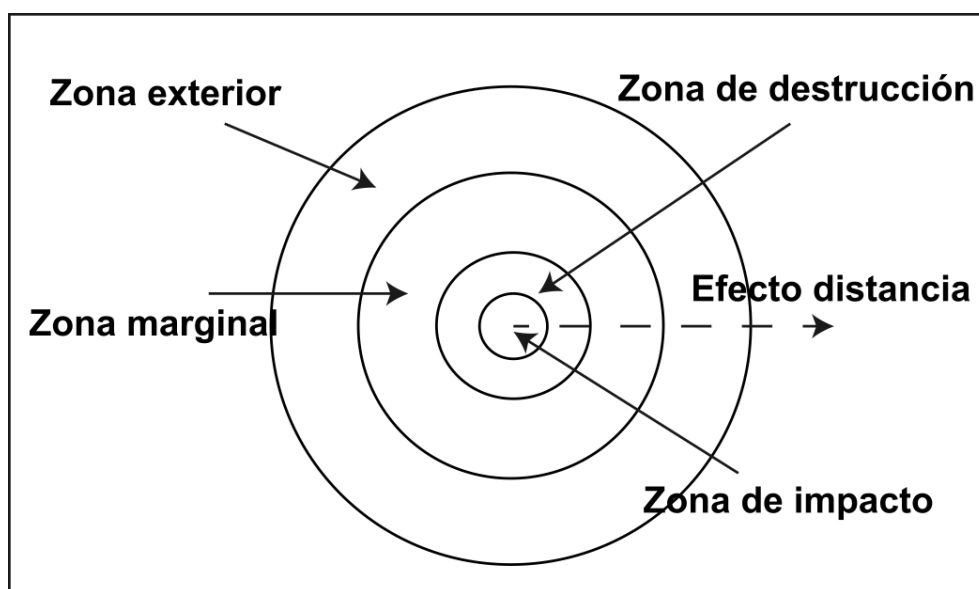
Los elementos necesarios para explorar los comportamientos humanos

- 12 En la actualidad existen varias definiciones del comportamiento. Entre estas, N. Sillamy (1993) indica que el comportamiento humano corresponde a las «reacciones de un individuo, considerado un medio y una unidad de tiempo según una excitación o conjunto de estimulaciones». Por su parte K. Lewin (1936), definía el comportamiento de forma aún más general con: $C = f(P, E)$. El comportamiento (C) depende a la vez de la persona (P) y de su medio (E), y no únicamente de uno o u otro de estos parámetros. Esta formalización permite considerar el medio en su sentido amplio (medio físico, social, espacial, temporal) y las características de los individuos (resistencia física, cultura, experiencia) como parámetros que condicionan las reacciones de la población humana. En lo concerniente a los desastres estos parámetros forman parte de las siguientes categorías:
- 13 *Naturaleza de las amenazas y fases temporales del desastre (parámetro E).* Los comportamientos humanos son identificados generalmente a partir de la observación de un evento específico, este clasificado según el origen del riesgo (podemos distinguir clásicamente los riesgos de origen natural, tecnológicos, sociedad y lo vivo?). Sin embargo, para entender las reacciones de los comportamientos en situación de estrés, el criterio del origen del riesgo es demasiado restrictivo. Debe circunscribirse con las fases temporales del desastre, no a sus mecanismos, sino las que unen a las víctimas con el evento. D.D. Baumann y J.H. Sims (1974) han demostrado, a partir de investigaciones en los Estados-Unidos y Puerto Rico sobre la percepción de los huracanes, que la población reacciona de manera diferente antes, durante y después de la manifestación de esta amenaza. Además, los resultados de sus trabajos han relevado el rol parcial de lo cultural, aspecto que modifica más bien en las estrategias de respuesta en fases anteriores y posteriores al desastre. En efecto, el factor cultural parece no “jugar un papel” durante el desastre. A. Signorelli (1992) distingue así la fase puntual del evento y la continua. Esta última corresponde ya sea al periodo anterior, evento o al de la situación con el objetivo de «regresar a la normalidad, a la reorganización de la vida social» (Signorelli, 1992). Durante estas dos fases, puntuales y continuas, existen comportamientos específicos y se diversifican según si el evento es anunciado (huracán, tormenta, algunas erupciones volcánicas e inundaciones, tsunamis⁸) o no (tsunamis locales, terremotos, explosiones industriales, nucleares, fisura de represa...). En el primer caso, observamos comportamientos razonados (George y Gamond, 2011) que tienen principalmente el fin de prepararse al peligro y hacer frente a este

(evacuación organizada, análisis reflexionado frente los efectos potenciales del desastre), mientras que en el segundo caso, bajo el efecto de sorpresa y miedo, las reacciones son más instintivas (Laborit, 1994), inmediatas y automáticas (asombro, escape en pánico por ejemplo durante la auto evacuación no anticipada), por lo menos en los primeros instantes del shock.

- 14 *Las zonas del desastre (parámetro E).* Los comportamientos humanos difieren también en función de la zona del desastre. L. Crocq (1994; 1998) distingue cuatro zonas: *zona de impacto*, donde las destrucciones materiales son muy importantes, el número de víctimas es elevado y el desorden social es más alto. *Zona de destrucción*, donde las destrucciones materiales son muy importantes, pero el número de heridos es menor y la organización social está muy perturbada, y las *zonas marginales* y *exteriores* que son generalmente poco afectadas por el evento (Fig. 1). Esta distribución en zonas, aplicada específicamente a los terremotos, puede asociarse a otros eventos, ya sean de origen natural o tecnológico. Sin embargo, los siniestros que tienen una huella espacial limitada (por ejemplo, los naufragios) califican difícilmente en esta categorización. Como indica R. Noto (1994), durante un naufragio, la zona de impacto se confunde con la zona de destrucción. Este fue el caso durante el naufragio del Concordia a lo largo de las costas italianas en el año 2012.

Figura 1: Zonas del desastre durante un terremoto.



Fuente: Crocq, 1994

- 15 *Las especificidades de la zona impactada (parámetro E).* Las especificidades funcionales de la zona impactada por un desastre, como la densidad de la construcción, presencia de espacio aireados, el tipo de construcciones, la morfología de las redes viales, son algunos elementos, entre otros, que participan en influyen en las reacciones de los comportamientos individuales y colectivos. Por ejemplo, durante una inundación por desbordamiento de ríos, pensamos en las posibilidades de evacuación vertical cuando las habitaciones están construidas sobre el nivel de agua. Este tipo de evacuación no es apta para las casas sin elevación, lo que por ejemplo sucedió con la tormenta de Cynthia en 2010 influyendo en la mortalidad. Estas construcciones llaman a interrogarse sobre

nuestros modos de urbanización de los territorios tanto en la localización y el tipo de construcción (Reporte del Tribunal de Cuentas 2012).

- 16 *Las características de los individuos (parámetro P) y población (parámetro E).* Además, los tipos de comportamientos varían según los factores físicos de los individuos (edad, agilidad), los aprendizajes y experiencias (cultura del riesgo), las creencias, personalidad, motivaciones propias de cada uno (unirse con la familia, salvar a sus cercanos, convertirse en héroe...), pero también la densidad de la población y su composición.
- 17 Tres de estas categorías han sido consideradas durante la construcción del modelo matemático presente en la última parte de este artículo. Se trata de la naturaleza de las amenazas, (los tsunamis locales como eventos imprevistos y sorprendidos no pudiendo dar alerta a la población son utilizados en la modelización), las fases temporales del desastre (solo las reacciones humanas que se producen durante la manifestación de la amenaza son analizadas) y el área espacial (en esta investigación se focaliza la atención sobre los comportamientos producidos en el seno de la zona de impacto y destrucción). Estas opciones no son anodinas. A este punto de la modelización, hemos optado por la integración, el modelo matemático, parámetros generales, es decir, no específicos a un territorio o a características sociales, económicas y culturales (edad, sexo, áreas culturales, nivel de remuneraciones, riqueza), estas últimas no tienen un rol clave durante la amenaza, pero, sí durante las fases anteriores y posteriores al desastre como lo han demostrado D.D. Baumann y J. H. Sims (1974).

Pocos ensayos de clasificación de los comportamientos humanos en situación de desastre

- 18 Con el fin de analizar y comparar los comportamientos adoptados durante eventos catastróficos, es importante sostenerse de una clasificación que aporte una cierta coherencia en la comparación ante diferentes situaciones. En este ámbito, algunos trabajos han creado una tipología de los comportamientos observados durante diferentes eventos catastróficos, ya sean de origen natural o tecnológico. L. Crocq (1994) ha categorizado esta forma de reacciones humanas según las zonas de desastre en las cuales se situaron las personas (Tabla 1).

Tabla 1: Comportamientos humanos en función de las zonas del desastre

Zonas del desastre	Comportamientos humanos
Zona de impacto	inhibición, estupor, postración, pánico
Zona de destrucción	inhibición, fuga centrifuga, agitación, pánico
Zona marginal	incertitud, indecisión, rumores, éxodo
Zona exterior	Simpatía, convergencia, reparación

Fuente: Crocq, 1994

- 19 Más allá de su pertinencia, no utilizamos esta tipología de zonificación espacial del desastre para asentar nuestros modelos matemáticos, dado que esta no permite responder plenamente a nuestra problemática de investigación: Integrar la cronología del evento como un rol clave en las respuestas dadas a este y la situación, abarcar los comportamientos tanto adaptados como no⁹, considerar las contribuciones de la neurociencia, en cuanto a que el ser humano se queda raramente estático en un solo tipo de reacción.
- 20 Para considerar estos diferentes aspectos, Dubos-Paillard y Provitolo (pronto a publicarse) construyeron una tipología de los comportamientos humanos que pueden producirse en las zonas de impacto y destrucción ante un desastre. Esta tipología está organizada según dos ejes: las zonas cerebrales implicadas en las respuestas de comportamientos y las fases temporales del evento y su alerta (Figura 2). Para una explicación detallada y la metodología utilizada remitirse a la obra de Dauphiné y Provitolo (2013). Esta tipología, si bien es imperfecta, presenta la particularidad de responder a los objetivos de la modelización, estimular la emergencia, el mantenimiento, engranaje y desaparición de los comportamientos interactuando unos con otros.
- 21 Así,
- a) Apreciando las zonas cerebrales implicadas en las respuestas de comportamientos han sido disociados:
- 22 *Los comportamientos instintivos*: son tratados por la zona reptiliana del cerebro que administra los estados de urgencia del instinto (Laborit, 1994). Estos agrupan los comportamientos de fuga instintiva y pánico, sideración, lucha instintiva y también los comportamientos autómatas (Vermeiren, 2007).
- 23 *Los comportamientos adquiridos e inteligentes*: estos son administrados por la corteza prefrontal (George y Gamond, 2011) con el fin de adaptar, de manera reflexiva y ya no instintiva, las reacciones a la perturbación. Esto concierne principalmente a las evacuaciones preventivas o espontaneas, reacciones de fuga reflexivas que están asociadas, búsqueda de parientes o socorro, los comportamientos de lucha contra los impactos potenciales de peligro, confinamiento (ejemplo, el acto de rellenar fisuras en los edificios, llevar a cabo reservas de agua y de alimento), el refugio (por ejemplo, regresar a su domicilio), y de manera poco frecuente los comportamientos llamados « desviantes » (como saqueo, robo) o de curiosidad.
- 24 b) Relativo a las fases temporales del desastre y al rol de alerta. A cada una de estas fases, se les nombra respectivamente «anteriores al shock», «shock» y «posterior al shock», corresponden a un cierto número de comportamientos susceptibles de ser observados en las zonas directamente impactadas. Su origen varía según la alerta o no a la población. Para fundamentar nuestro propósito, cuando un peligro es anunciado (por ejemplo, un huracán) pero que la distancia temporal entre su manifestación y su anuncio es importante, las reacciones humanas son más reflexivas que instintivas. Estas últimas se producen cuando el evento se aproxima en el tiempo, espacio y donde las posibilidades de contar con una plena protección ya no existen o cuando el evento se produce por sorpresa y no es posible dar una alerta preventiva (ejemplo de ello son los tsunamis locales que se originan cerca de las costas, terremotos)¹⁰. Por último, resulta necesario precisar que un comportamiento en periodo de desastre no es específico a un nivel de análisis. Puede leerse a nivel individual, familiar, grupal u organizacional.

Estudiar los comportamientos humanos requiere interiorizarse tanto en los comportamientos individuales o aislados, en ruptura con los comportamientos tradicionales, como a los comportamientos colectivos preprogramados y jerarquizados (planes de socorro y rescate), o al contrario emergentes como los que se difunden a un conjunto de grupos (ayuda mutua, pánico colectivo). Además, no todos han estado sistemáticamente presentes durante las situaciones de desastre que hemos podido estudiar.

Figura 2: Tipología de los comportamientos humanos observados al interior de las zonas de impacto y destrucción según la temporalidad del desastre

Dimensión temporal Principales tipos de comportamientos	Fase preliminar al shock → Shock → Fase posterior al shock			
	Alerta Peligro distante (anunciado)	Peligro inminente (anunciado), personalmente amenazante	Peligro presente previsto o no	Inmediato post impacto
Comportamientos instintivos				
◦ Escape pánico		x	x	x
◦ Sideración			x	x
◦ Reacción de lucha			x	
◦ Agitación		x	x	x
◦ Comportamiento autómata		x	x	x
Comportamientos adquiridos e inteligentes				
◦ Evacuación/escape	x	x	x	x
◦ Refugiarse/confinarse	x	x	x	x
◦ Reacción de lucha reflexiva frente al desastre (potencial o real)	x	x	x	x
◦ Inmóvil, forzado o reflexionado		x	x	x
◦ Búsqueda de familiares o amigos	x	x	x	x
◦ Búsqueda de ayuda			x	x
◦ Ayuda mutua (asistencia, en urgencias)		x	x	x
◦ Curiosidad			x	x
◦ Comportamientos con saqueo, robos, violencia				x
◦ Retorno a su domicilio o lugar de trabajo				x

X Comportamiento observado

© Provitolo, Dubos-Paillard, 2012

Fuente: Dubos-Paillard, Provitolo, en prensa "Chemin de traverse"; Provitolo, Dubos-Paillard, 2012.

- 25 Este panorama de los comportamientos humanos en situación de desastre permite:
- Visibilizar la multitud de parámetros que intervienen en las reacciones humanas: algunos son propios a la naturaleza de las amenazas, fases y la influencia espacial del evento. Otros son propios a las características de los individuos y a sus interacciones.
 - Identificar el abanico de reacciones humanas, pudiendo desarrollar y proponer una clasificación para la elaboración de una tipología útil a la modelización. Pero esta última, que por definición es estática, no permite considerar las dinámicas de comportamientos e interdependencias que existen entre las reacciones humanas, incluso cuando el paso de una fase a otra son el centro de su comprensión.
- 26 Para considerar las especificidades de las reacciones, en ruptura con los comportamientos de lo cotidiano, pero también y sobre todo las secuencias de comportamientos y sus dinámicas temporales, proponemos, en la siguiente parte, un modelo macroscópico basado en la teoría de los sistemas dinámicos no lineales.

Nuestra elección de modelización

- 27 Para realizar un modelo, se deben tomar opciones. El desastre y los comportamientos humanos siendo dos sistemas dinámicos que interactúan, es conveniente especificarlos. Hemos optado por el análisis de los comportamientos que se producen en las zonas de impacto y destrucción consideradas como un medio cerrado en el cual la población es constante. En este artículo, no integramos las dinámicas espaciales pudiendo crearse en el seno de o entre las diferentes zonas del desastre. Esto, con el fin de concentrarse ante todo en los diferentes comportamientos colectivos, y en los procesos de transición de un comportamiento a otro durante un desastre. Para generar el modelo de comportamientos, hemos considerado las amenazas repentinas por los cuales la población no pudo ser informada. Los sismos, tsunamis locales o para diversificar, los atentados, ingresan en esta categoría. Así, incluso si numerosos avances han sido realizados en materia de prevención de riesgos, no hay método -hasta el día de hoy- que permita prever precisamente su ocurrencia. Sin embargo, la alerta preventiva favorece los comportamientos adaptados, razonados o controlados (Fig. 2). Cuando un evento imprevisto se produce, los comportamientos instintivos como el miedo, fuga en pánico, la sideración se apodera de la población. Si este estado puede ser de corto periodo para ciertos individuos que evolucionan rápidamente hacia comportamientos controlados, puede presentar una mayor duración en otros y sobre todo propagarse rápidamente, principalmente en el caso del pánico.

Presentación de los comportamientos estudiados

- 28 Ya establecidos estos elementos y tipología propuesta, privilegiamos en el modelo tres meta-comportamientos que se presentan a continuación:
- 29 *Comportamientos reflejos*: corresponden al conjunto de comportamientos instintivos presentados en la tipología (Fig. 2). Las reacciones de reflejos iniciadas durante un peligro permiten al organismo reaccionar extremadamente rápido, ya sea fugándose lo más rápido posible, luchando de forma automática, o cayendo en un estado de sideración y por tanto físicamente incapaz de moverse en el espacio, o desarrollando por sola movilidad un lento desplazamiento centrífugo (Crocq, 1994). Privilegiamos “globalizar” todos los comportamientos reflejos a pesar de su diversidad, a única excepción de los comportamientos de pánico que requieren un análisis específico.
- 30 *Comportamientos de pánico*: ¿Por qué hablar sobre el pánico cuando también es parte de los comportamientos instintivos? Primero porque el pánico es objeto de debate en la comunidad científica con dos posicionamientos distintos: para algunos investigadores, el pánico no existe, para otros se declara durante eventos catastróficos. En nuestro texto no examinaremos en detalle las razones de este debate que opone la Escuela norte americana de la francesa (Dupuy, 1991). Sin embargo, el reciente trabajo de Crocq (2013) dedicado completamente a los pánicos colectivos abarca nuestro posicionamiento científico (Provitolo, 2005). Este implica reconocer la existencia de comportamientos de pánico en contexto de peligro. Para demostrar esto, Crocq (2013) ha descrito más de treinta catástrofes, de origen natural, tecnológico o como resultado de combates militares. Sobresalen de estas observaciones que “el pánico colectivo de fuga existe efectivamente”. “Puede afectar tanto a un grupo de pocos miembros como masas enteras. Se puede producir un local, sala de espectáculos o en una ciudad

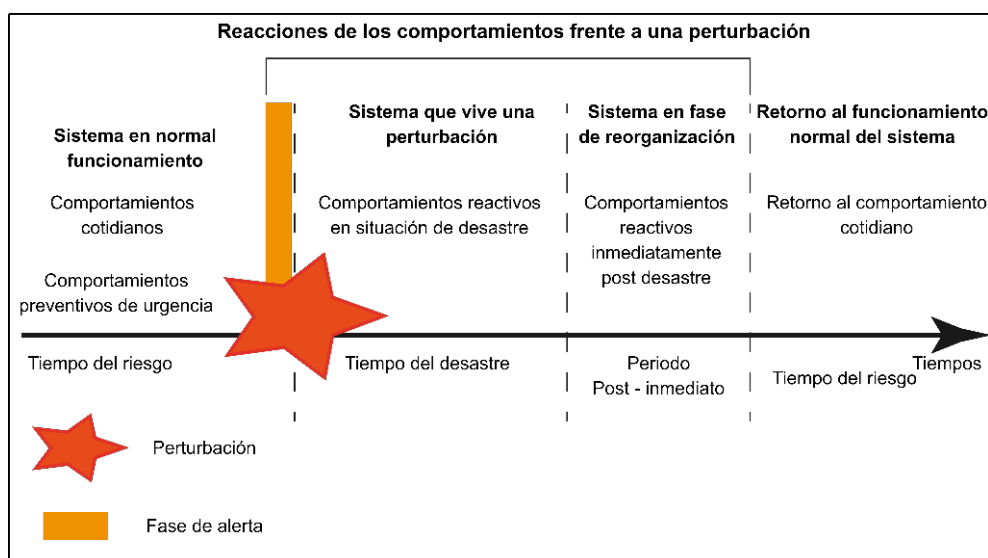
siniestrada por un incendio gigantesco o en un país huyendo de una invasión enemiga” (Crocq, 2013). Además, el pánico tiene un “estatus” un poco particular ya que, si bien esta reacción no es la más frecuente, es sin embargo la más temida ya que una vez surgida es difícil de eliminar (Crocq, 1994). Este tipo de reacción se vuelve peligrosa para la población que la padece (avalanchas humanas, pisoteos, aplastamientos, furor) y esto particularmente en el caso de masas ya formadas. Además, en la masa de gente, el pánico colectivo emerge a través de procesos de imitación y contagio, procesos bien descritos en la psicología de masas y que han sido objeto de una traducción psicológica bajo el término de contagio emocional (Hatfield et al, 1994). Debido a los mecanismos desarrollados, el término de pánico colectivo está “más asociado a su dinámica interna que al alejamiento del peligro” (Crocq, 1994).

- 31 *Comportamientos controlados:* Están regidos por la corteza prefrontal que releva al cerebro reptiliano (Berthoz y Grèzes, 2011). Las reacciones de tipo reflejo tomadas bajo el efecto de la sorpresa e irrupción del peligro (Crocq, 1994) dan lugar a reacciones controladas, razonadas e inteligentes. Se considera “globalizar” todos los comportamientos sociales razonados, esto a pesar de su diversidad (Fig. 2).
- 32 Estos comportamientos serán representados como un sistema complejo formado por partes en interacción. Se pueden producir a través de diferentes mecanismos: agregación simple (cuantificando los comportamientos individuales idénticos), casualidad (a fin de considerar la sucesión posible de comportamientos), imitación y contagio (procesos resultantes de interacciones e imitación entre los individuos). Finalmente, como en el caso de la resolución de problemas, los comportamientos frente al peligro no se producen todos al mismo tiempo, aparecen en un cierto orden de manera secuencial.

El ciclo de reacciones de comportamientos frente a las fases del riesgo y del desastre

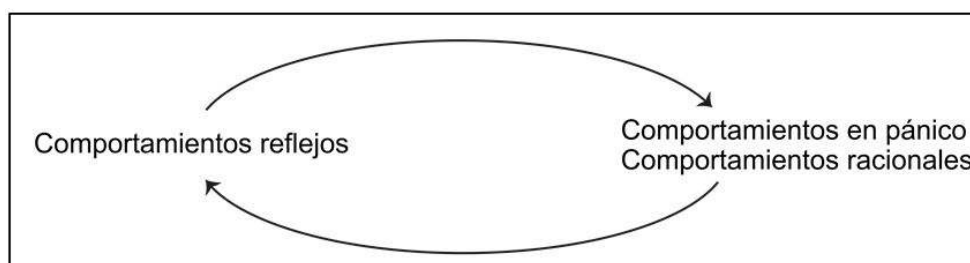
- 33 Para considerar las secuencias en los comportamientos, conviene integrar la dimensión del tiempo antes y después del desastre (Fig. 3), analizando las reacciones humanas como una cadena de comportamientos que aparecen en un cierto orden: el paso del comportamiento en cotidiano a los comportamientos reactivos en situación de desastre y posteriormente el regreso a los comportamientos del cotidiano cuando el sitio siniestrado y sus alrededores vuelven a encontrar un funcionamiento cercano a un nuevo equilibrio.

Figura 3: Ciclo de las reacciones de comportamientos en relación a las fases del riesgo y desastre



- 34 Esta organización, también se encuentra en secuencia cuando las reacciones de los comportamientos ocurren durante la urgencia de una situación real: los comportamientos reflejos se desarrollan en un periodo breve. Estos son seguidos de comportamientos razonados y/o que dan lugar al pánico. Pero estas secuencias deben ser vistas como un mecanismo en bucle por dos razones. Por una parte, según la evolución de la situación, y principalmente en el caso de un encadenamiento de eventos, los individuos que han adoptado un comportamiento “inteligente” pueden momentáneamente, frente a un nuevo peligro, volver a adoptar un comportamiento reflejo. Por otro lado, el mecanismo de causalidad que permite considerar la sucesión posible de los comportamientos, no es el único mecanismo en acción. El “contagio emocional” (Hatfield et al 1994) viene a confundir las secuencias en los comportamientos. “El contagio emocional se refiere al hecho de percibir una expresión emocional que pone en marcha en el observador la imitación automática de esta expresión; ésta denomina así el fenómeno de propagación de una emoción de un individuo a otro” (Provitolo et al, 2012). Durante un comportamiento de tipo histeria colectiva (pánico), la circulación de una emoción va, poco a poco, transformando un conjunto de individuos, con reacciones individuales diversas, a un grupo actuando colectivamente. Así, el rol del entorno en que está inmerso el ser humano es evidente en las dinámicas de sus comportamientos.
- 35 El conjunto de estos aspectos nos ha llevado a concebir las reacciones de los comportamientos como un ciclo (Fig. 4) en situación excepcional de desastre.

Figura 4: Círculo de retroacción entre los comportamientos reflejos, racionales/razonados y pánico



Modelización matemática y calibración del modelo de comportamientos humanos

- 36 En una visión dinámica y no estática como las tipologías, el modelo matemático que hemos elaborado describe la evolución de los diferentes elementos de los comportamientos considerados por ecuaciones diferenciales ordinarias.

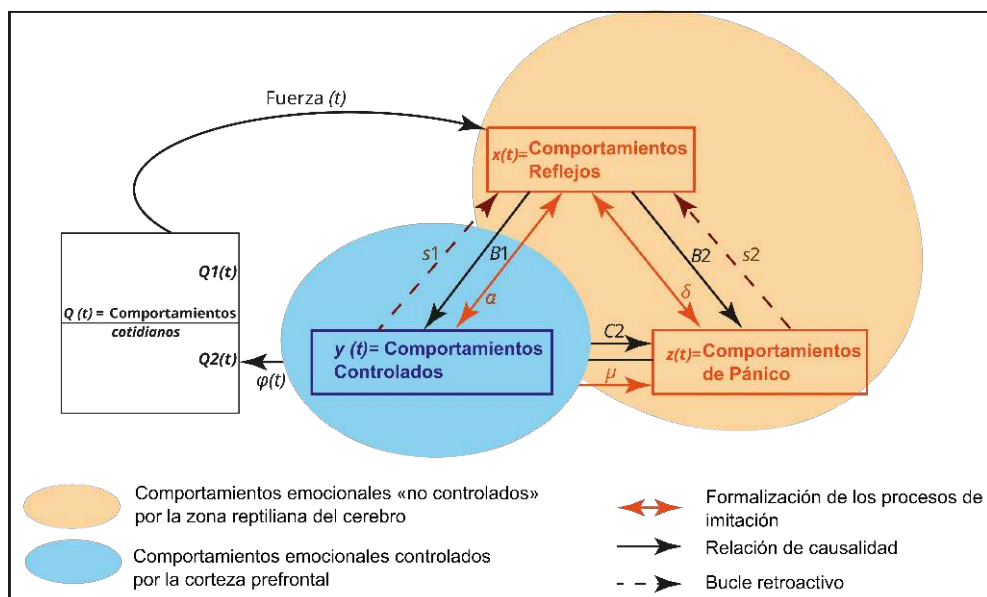
De la formalización gráfica al modelo matemático

- 37 Por motivos pedagógicos y comprensión pluridisciplinaria entre geógrafos, matemáticos e informáticos, proponemos exponer un modelo gráfico que describe los tres meta-comportamientos en situación excepcional de desastre antes de formalizarlo matemáticamente.

El planteamiento gráfico

- 38 El modelo gráfico (Fig. 5) corresponde a una población de individuos representados por su comportamiento a diferentes instantes t . Distinguimos los comportamientos del cotidiano Q , los comportamientos emocionales no controlados x y z y los comportamientos controlados y . Así, durante el desastre, la población, inicialmente en $Q1$ evoluciona, según diferentes modalidades, dentro de tres subpoblaciones x, y e z . Los efectivos de cada subpoblación varían en función de t . Durante el evento, la dinámica del sistema se materializa por transiciones entre estas subpoblaciones. Distinguimos las transiciones recurrentes en todas las catástrofes y reacciones de los comportamientos como procesos de causalidad ($B1, B2, C1, C2$), de imitación y contagio (α, δ, μ), transiciones utilizadas específicamente para tratar el efecto dominó ($s1$ y $s2$) y que desaceleran el regreso a una situación pseudo normal en $Q2$. El inicio del desastre es representado por una función de fuerza¹¹ y donde la forma podría variar según las especificidades de las amenazas (cinética rápida o lenta, prevista o no). Estos aspectos están explícitamente detallados en la siguiente parte.

Figura 5: Modelización gráfica y matemática de los tres meta-comportamientos (PCR: Pánico, Controlados y Reflejos) y transiciones entre cada uno de ellos.



39 La siguiente tabla (Tab. 2) entrega un resumen de las diferentes partes del modelo.

Tabla 2: Identificación y cualificación de las variables y funciones

$Q_1(t)$	Los individuos se encuentran en su comportamiento cotidiano al principio de la simulación
$Q_2(t)$	Individuos que se encuentran con un comportamiento “pseudo normal” después de haber reaccionado al evento.
$x(t)$	El total de los comportamientos “Reflejos” a un instante t .
$y(t)$	El total de los comportamientos “Controlados” a un instante t .
$z(t)$	El total de los comportamientos “en Pánico” a un instante t .
Relaciones de causalidad y efecto dominó	
B_1	De los comportamientos reflejos hacia los comportamientos controlados.
B_2	De los comportamientos reflejos hacia los comportamientos de pánico.
C_1	De los comportamientos de pánico hacia los comportamientos controlados.
C_2	De los comportamientos controlados hacia los comportamientos en pánico.

s_1	De comportamientos controlados hacia los comportamientos reflejos.
s_2	De comportamientos en pánico hacia los comportamientos reflejos.
$\gamma(t)$	La función de fuerza permitiendo representar el tipo de amenaza.
$\phi(t)$	La función de paso de $y(t)$ a $Q_2(t)$
Los procesos de imitación y contagio	
α	Los procesos de imitación y contagio entre x e y .
δ	Los procesos de imitación y contagio entre x y z .
μ	Los procesos de imitación y contagio entre y y z .

El modelo matemático

40 La figura 6 presenta la formalización matemática del modelo gráfico.

Figura 6. Formalización matemática de tres meta-comportamientos en situación excepcional de desastre

$$\begin{cases}
 \frac{dx}{dt} = \gamma(t)Q_1(t) \left(1 - \frac{x(t)}{x_m}\right) - (B_1 + B_2)x(t) + \alpha f_1(x(t))y(t) + \delta f_2(x(t))z(t) + s_1y(t) + s_2z(t), \\
 \frac{dy}{dt} = B_1x(t) - \alpha f_1(x(t))y(t) + C_1z(t) - s_1y(t) - C_2y(t) - \varphi(t)y(t) \left(1 - \frac{Q_2(t)}{Q_{2m}}\right) + \mu g(y(t)).z(t), \\
 \frac{dz}{dt} = B_2x(t) - s_2z(t) - \delta f_2(x(t))z(t) - C_1z(t) + C_2y(t) - \mu g(y(t)).z(t), \\
 \frac{dQ_1}{dt} = -\gamma(t)Q_1(t) \left(1 - \frac{x(t)}{x_m}\right), \\
 \frac{dQ_2}{dt} = \varphi(t)y(t) \left(1 - \frac{Q_2(t)}{Q_{2m}}\right)
 \end{cases} \quad (1)$$

41 En este modelo matemático, la población Q está compuesta de N individuos y está constituida de dos subpoblaciones $Q_1(t)$ y $Q_2(t)$. La variante $Q_1(t)$ designa el número de individuos en su comportamiento cotidiano. Así, justo antes que el desastre se produzca, toda la población está en este estado, entonces $Q_1(0) = N$. Todos estos comportamientos van enseguida a transformarse en comportamientos reflejos $x(t)$ dado el efecto sorpresa del desastre. Este aspecto se tendría que modelar si el desastre fuera anunciado (en ese caso, podríamos tener desde el inicio comportamientos controlados $y(t)$ de tipo confinamiento, lucha contra las destrucciones potenciales etc.) La variante $Q_2(t)$ designa a los individuos que vuelven a tener un comportamiento «pseudo normal» después de haber reaccionado al evento. $Q_2(t)$ está alimentada únicamente por los comportamientos controlados $y(t)$. En efecto, un individuo necesita recuperar el control de sí mismo con el fin de volver a encontrar su comportamiento anterior al evento. La función $\phi(t)$ formaliza el pase de $y(t)$ a $Q_2(t)$. Una vez que estamos en Q_2 no se “vuelve” más al sistema (esto corresponde a los inmunizados definitivos de modelos SIR¹²). En

realidad, las catástrofes resultan frecuentemente con efecto dominó (Dauphiné, Provitolo, 2013), lo que implicaría iniciar nuevas perturbaciones con un plazo y reinyectar todo o parte de $Q_2(t)$ en el sistema, lo que se traduciría en un modelo más realista y robusto,

- 42 La amenaza está representada por una función de fuerza $\gamma(t)$ que puede ser discreta o continua. Por ejemplo, un tsunami local puede ser asimilado a un evento de tipo forzamiento discreto (cuando no hay ningún anuncio y entonces no existe advertencia en la llegada del evento). Sin embargo, una inundación de llanura que es advertida varias horas antes será modelizada por un forzamiento lento (continuo).
- 43 Para este modelo, exponemos como hipótesis que, al momento de la ocurrencia del evento, el hecho de su naturaleza repentina e imprevista, implica que el conjunto de la población afectada va a adoptar un comportamiento de tipo “Reflejo” (x) el cual interrumpirá las reacciones u ocupaciones cotidianas (Q) de la fase anterior. El surgimiento de este evento se expresa por la función logística parametrizada por la función $\gamma(t)$ que se caracterizará por la brutalidad y la rapidez del evento (en este caso un tsunami local sirve de referencia). Materializamos los círculos de retroacción que permiten mantener el estrés de la percepción del desastre con las flechas etiquetadas s_1 y s_2 (Fig.5). Tales parámetros son constantes, sin embargo, un modelo más evolucionado consistiría en hacerlos variar en función del tiempo.
- 44 Una vez que la población se encuentra bajo el comportamiento reflejo, una parte B_1 puede evolucionar hacia comportamientos controlados, otra parte B_2 evolucionaría hacia comportamientos en pánico. De la misma forma, una parte C_1 de la población en pánico puede pasar a un comportamiento controlado y una parte C_2 puede ir en el sentido contrario (de control al pánico).
- 45 Las transiciones precedentes son lazos de causalidad; por lo tanto, ahora se definen los procesos de imitación y contagio: α , δ , μ . La constante α traduce el proceso de imitación entre los comportamientos reflejo x y los comportamientos controlados y , proceso que está modelizado tal cual una propagación epidemiológica. La imitación se efectúa en los dos sentidos y es modelizada bajo la forma $\alpha.f_1(x(t)).y(t)$. Esta modelización favorece la imitación en un sentido dado, x hacia y por ejemplo. En efecto, en nuestras pruebas numéricas, podemos estimar que se requiere al menos 55% de comportamientos reflejos para que los individuos que hayan adoptado comportamientos inteligentes imiten reacciones de tipo reflejos (huida en pánico, sideración, etc.). La constante δ traduce el proceso de imitación entre los comportamientos reflejos y comportamientos en pánico. La imitación es modelizada por la función $\delta.f_2(x(t)).z(t)$. Finalmente, la constante μ traduce los procesos de imitación entre los comportamientos controlados y en pánico, considerando que este proceso se desarrolla en el sentido de comportamientos de estos últimos hacia los primeros. Esto es modelizado por el término $\mu.g(y(t)).z(t)$.

Calibración del modelo

- 46 Los datos que permiten calibrar el modelo son poco frecuentes y contradictorios en ocasiones. Podemos distinguir dos grupos de datos cuantitativos. Los relativos a los porcentajes de población adoptando un cierto tipo de comportamiento y la duración de los comportamientos.

Porcentajes de población que adopta un cierto tipo de comportamiento

- 47 Estos diferentes tipos de comportamiento humano pueden manifestarse en proporción variable en función de la situación de desastre, lo repentino de la amenaza, composición del grupo en condiciones de urgencia, aptitudes individuales para comprender el peligro o el conocimiento del medio. Como respuesta más o menos adaptada al desastre, los comportamientos modifican la vulnerabilidad de la población o al contrario su resiliencia según su adaptación a la situación.
- 48 S. Boyd (1981) estima que en la mayoría de las catástrofes: “15% de los individuos manifiestan reacciones patológicas patentes, 15% conserva su sangre fría y 70% manifestarían un comportamiento aparentemente más tranquilo, pero responderían de hecho a un cierto grado de sideración emocional y pérdida de la iniciativa que relevaría del registro patológico.” Sin embargo, un reporte de la ingeniería de la seguridad de incendios¹³ (PN ISL.2012) constata que 10 a 15% de las personas presentan comportamientos anormales o estados de confusión. Entre el 12 y 25% reaccionan correctamente. El 75% son personas paralizadas, inhibidas o lideradas. Finalmente, según J.S. Tyhurst (1957), en situaciones excepcionales, 10 al 25 % de los individuos presentan comportamientos inadaptados, 12 al 25 % reaccionan de manera adaptada, y 75% tienen una reacción aparentemente normal, pero en realidad no reflexiva. Si los valores varían al margen según las fuentes bibliográficas, todas revelan la diversidad de las reacciones con una preponderancia a los comportamientos reflejo. Si bien estos datos deben ser modelados según la influencia de los diferentes parámetros de nuestro modelo, optamos por rangos de valores con:
- $x(t)$ = 50 a 75% de la población
 $y(t)$ = 12 a 25% de la población
 $z(t)$ = 12 a 25 % de la población.
- 49 Según nuestro conocimiento, no existen datos disponibles para cuantificar los mecanismos de transiciones de un estado de comportamiento a otro.

Duración de los comportamientos

- 50 Estas diferentes reacciones tienen duraciones variables (Vermeiren, 2007), con:
- $X(t)$ = duración del comportamiento reflejo varía de algunos minutos a una hora. Lo más frecuente en este tipo de comportamiento es que no se extienda por más de 15 minutos, aunque puede durar más tiempo, generalmente cuando corresponde al tiempo que toma la evacuación de una región siniestrada. En ese caso, vemos un progresivo retorno a comportamientos entre ayuda y búsqueda de personas cercanas y siniestradas (Crocq, 1994).
 - $Z(t)$ = Tiempo de duración del comportamiento en pánico varía de algunos minutos a una hora. Lo más frecuente es que este tipo de comportamiento no pase más allá de los 15 minutos. El pánico colectivo se resuelve generalmente de manera espontánea. Sin embargo, en ocasiones una intervención enérgica exterior permite a la población en pánico $z(t)$ volver a un estado de calma en la postración, lo que explica que esta última vuelva a pasar por un comportamiento autómatas $x(t)$ antes de adoptar un comportamiento controlado $y(t)$.
 - $x(t) + z(t)$ = Tiempo de duración del comportamiento emocional no controlado. Este no dura más de 1h30 en general. En el modelo, partimos bajo la hipótesis que un individuo no puede quedarse una hora en un comportamiento reflejo u otra hora en un estado de pánico¹⁴.

- $y(t)$ = Tiempo de duración del comportamiento controlado varía de algunos minutos a varias horas, según se inviertan roles y acciones de los actores institucionales.
- 51 De forma general, estos datos pueden ser utilizados como entradas al modelo o resultados hacia los cuales se debería tender, lo cual corresponde al modelo propuesto. Por lo tanto, la finalidad es encontrar valores de los parámetros para obtener los datos de salida. Estos resultados son presentados en Verdière et al. (2014).

Conclusión

- 52 Durante un desastre, las reacciones humanas tienen como finalidad hacer frente a una situación excepcional a través de diferentes comportamientos que modifican los cotidianos, ya sea, por ejemplo, huyendo del peligro o incluso bajo pánico, subsanando el número insuficiente de bomberos y socorristas profesionales, buscando víctimas en los escombros, luchando contra los efectos de una inundación, evacuando si las autoridades lo exigen o no (por lo tanto, de manera espontánea) hacia una zona de peligro durante un desastre tecnológico etc.
- 53 Pero la observación de este número restringido de comportamientos humanos durante los desastres, no entrega más que un conocimiento fragmentado, ya que *“los fragmentos han sido tomados al azar de las circunstancias”* (Regnier, 1968) y no revelan sobre las secuencias en los comportamientos.
- 54 Frente a los límites de la observación, hemos formalizado gráfica y matemáticamente los comportamientos colectivos que se pueden producir en la zona de impacto de un desastre y durante un evento súbito. Estas formalizaciones permiten:
- Considerar las limitantes de la situación en la cual los comportamientos van a situarse,
 - Analizar los comportamientos frente al continuo temporal del evento y la dinámica temporal propia a cada tipo de reacción humana,
 - Comprender mejor y prever la producción de comportamientos que se propaguen al conjunto de una masa a partir de reacciones individuales y procesos de interacción e imitación entre los individuos.
- 55 Esta capacidad de comprensión y previsión de las reacciones humanas colectivas, constituye un importante avance en la gestión de crisis y más específicamente en la protección de la población civil. En efecto, durante un desastre, las reacciones de las víctimas son inciertas, lo cual contribuye a la dificultad de controlar la situación por parte de los actores institucionales a cargo de la gestión de crisis.
- 56 Sin embargo, este modelo tiene sus límites. Primero, no integra la diversidad de reacciones humanas y debe ser enriquecido con el fin de obtener el panel de comportamientos identificados en la tipología (Fig.2). Así sería posible diferenciar en comportamientos razonados, altruistas y egoístas. Considerar este panel permitirá posteriormente afinar el modelo matemático modelando el tiempo de regreso al comportamiento normal. Por lo tanto, busca considerar el efecto dominó, es decir, integrar un accidente al interior del accidente. Estos efectos pueden iniciarse por nuevas amenazas (naturales o tecnológicas) o simplemente pueden corresponder a un contexto puntual, por ejemplo, una puerta cerrada en situación de evacuación. Por lo mismo, otra dirección de posibles investigaciones consistiría en introducir los tiempos, es decir, las respuestas inmediatas o diferidas de los elementos del modelo. Finalmente,

resultaría útil considerar las limitantes geográficas con el fin de estudiar el efecto del espacio sobre los comportamientos humanos.

BIBLIOGRAFÍA

- Agbossou I., Provitolo D., Frankhauser P., 2008, « Expérimentation par voie informatique de la mobilité résidentielle », *XV ème Journées de Rochebrune - Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels*, vol. Expérimentation, Rochebrune, Megève (France).
- Barsky L., Trainor J., Torres M., 2006, « *Disaster realities in the aftermath of Hurricane Katrina: Revisiting the looting myth.* », Natural Hazards Center Quick Response, Report Number 184.
- Baumann D.D., Sims J.H., 1974, « Human response to the hurricane », in White G.F. (ed.), *Natural hazards: local, national, global*, New York, Oxford University Press.
- Berthoz S. et Grèzes J., 2011, « Les émotions, fondement du sens moral », *L'essentiel Cerveau et Psycho : Les émotions au pouvoir*, N° 7, août-octobre 2011.
- Bourque L., Russell L., 1994, *Experiences During and Responses to the Loma Prieta Earthquake*, Governor's Office of Emergency Services, 368 p.
- Boyd S.T., 1981, « Réactions psychologiques des victimes de catastrophes », *South african Medicine Jal.*, N° 60, 744-748.
- Brosch T. et Sander D. 2011, « Les effets cognitifs des émotions », *L'essentiel Cerveau et Psycho : Les émotions au pouvoir*, N° 7, août-octobre 2011.
- Burton I., Kates R.W., White G.F., 1978, *The environment as hazard*, New York, Oxford University Press, 240 p.
- Cardon J.A., 2012, *La véridique histoire des compteurs à air*, Paris, Buchet-Chastel, Coll. Cahiers dessinés.
- Colonna J.F., 1993, « Expériences virtuelles et virtualités expérimentales », *Réseaux*, vol. 11, N° 61, 79-96.
- Crocq L., 1994, « La psychologie des catastrophes et des blessés psychiques », in Noto R., Huguenard P. et Larcen A. (eds.), *Médecine de catastrophe*, Paris, Masson, 580 p.
- Crocq L., 1998, « Violence, panique et mouvements de foule dans les stades », *Humeurs*, N° 24, 8-15.
- Crocq L., 2013, *Les paniques collectives*, Paris, Odile Jacob, 380 p.
- Cour des Comptes 2012, *Les enseignements des inondations de 2010 sur le littoral atlantique (Xynthia) et dans le Var*, Paris, 305 p., www.ccomptes.fr.
- Dauphiné A., Provitolo D., 2013, *Risques et catastrophes : observer, spatialiser, comprendre, gérer*, Paris, A. Colin, 412 p.

- Dubos-Paillard E., Provitolo D., à paraître, « Construction d'une typologie des comportements humains en situation de catastrophe dans une optique de modélisation », Paris, Chemins de Tr@verse.
- Dupuy J.P., 1991, *La panique*, Paris, Ed. Delagrangue, Coll. Les Empêcheurs de tourner en rond, 115 p.
- de Rosnay J., 1975, *Le macroscope : vers une vision globale*, Paris, Ed. du Seuil, 295 p.
- de Rosnay J., 1995, *L'homme symbiotique : regards sur le troisième millénaire*, Ed. du Seuil, 349 p.
- George N. et Gamond L., 2011, « Premières impressions », *L'essentiel Cerveau et Psycho : Les émotions au pouvoir*, N° 7, août-octobre 2011.
- Hagenauer J., Helbich M. Leitner M., 2011, « Visualization of crime trajectories with self-organizing maps: a case study on evaluating the impact of hurricanes on spatio-temporal crime hotspots », *25th Conference of the International Cartographic Association*, Paris, 3-8 July 2011.
- Hatfield E., Cacioppo J.T., Rapson R.L., 1994, *Emotional Contagion*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Helbing D., Farkas I., Vicsek T., 2000, « Simulating dynamical features of escape panic », *Nature*, vol. 47, 487-490.
- Janis, I., 1951, *Air war and emotional stress: psychological studies of bombing and civilian defense*, New York, McGraw-Hill.
- Laborit H., 1994, *La légende des comportements*, Paris, Flammarion.
- Lebon G., 1895, *Psychologie des foules*, Paris, PUF.
- Leone F., Lavigne F., Paris R., Denain J.-C., Vinet F. , 2010, « A spatial analysis of the December 26th, 2004 tsunami-induced damages: Lessons learned for a better risk assessment integrating buildings vulnerability », *Applied Geography*, 31, 1, 363-375.
- Lewin K., 1936, *Principles of topological psychology*, New York, McGraw-Hill.
- Mileti D. S. and O'Brien P., 1991, *Public Response to the Loma Prieta Earthquake Emergency and Aftershock Warnings: Findings and Lessons*, Fort Collins, CO: Colorado State University, Hazards Assessment Laboratory.
- Morin J., Lavigne F., Bachèlery P., Finizola A., Villeneuve N., 2009, « Institutional and peoples response in the face of volcanic hazards in island environment: Case of Karthala volcano, Comoros Archipelago. Part I - Analysis of the May 2006 eruptive crisis », *SHIMA The International Journal of Research into Island Cultures*, vol. 3, Issue 1, 33-53.
- Noto R., Huguenard P., Larcan A., 1994, *Médecine de catastrophe*, Masson, Paris.
- PN ISI, 2012, *Rapport Sécurité des personnes, comportement humain / Annexe 3 – Comportement humain face aux incendies et autres situations de danger*, Projet National Ingénierie de la Sécurité Incendie, 64 p.
- Provitolo D., Dubos-Paillard E., 2012, « Quand un invité surprise arrive... quels sont les comportements adoptés pendant, avant et après la catastrophe ? », *Assises Nationales des Risques Naturels*, 19 et 20 janvier 2012, Bordeaux.
- Provitolo D., Frankhauser P., Morer M., Enaux Ch., Ansel D., Agbossou I., Peeters D., Caruso G., 2012, « Modèles de comportements collectifs et coopératifs », in Frankhauser P. et Ansel D. (eds), *La décision d'habiter ici ou ailleurs*, Economica, Anthropos, 383 p.

- Provitolo D., 2005, « Un exemple d'effets de dominos : la panique dans les catastrophes urbaines », *Cybergeo : European Journal of Geography*, <http://cybergeo.revues.org/2991>.
- Quarantelli E.L., 2005, « A social science research agenda for the disasters of the 21st century » in Perry R.W. and Quarantelli E.L. (eds), *What is a disaster ? New answers to old questions*, Philadelphia, Xlibris.
- Quarantelli E.L., 2008, « Conventional beliefs and counterintuitive realities », *Social research*, vol 75, N°3.
- Regnier A., 1968, « Mathématiser les sciences de l'homme », *Revue française de sociologie*, vol. 9, N°9-3, 307-319.
- Revet S., 2009, « Pour une anthropologie sociale des catastrophes "naturelles" », in Buchet L., Rigeade C., Séguy I., Signoli M. (eds), *Vers une anthropologie des catastrophes*, Antibes, Paris, APDCA, INED.
- Ripley A., 2008, *The unthinkable. Who survives when disasters strikes - and why*, New York, Three Rivers Press.
- Rivière V., 2006, *Analyse du comportement appliquée à l'enfant et à l'adolescent*, Lille, Septentrion Presses Universitaires.
- Ruin I. 2010, « Conduite à contre-courant et crues rapides, le conflit du quotidien et de l'exceptionnel », *Annales de géographie*, vol 4, N° 674.
- Signorelli A., 1992, Catastrophes naturelles et réponses culturelles, *Terrain*, N° 19, 147-158.
- Sillamy N., 1993, *Dictionnaire usuel de psychologie*, Bordas, Paris, 768 p.
- Soussignan R., 2011, « Un monde d'émotions », *L'essentiel Cerveau et Psycho : Les émotions au pouvoir*, N° 7, août-octobre 2011.
- Swiss Re, 2012, Financial Report 2011, Swissprinters AG, Schlieren, 239 p.
- Tyhurst J.S., 1957, « Psychological and social aspects of community disasters », *Canada M.A.J.*, vol. 76, 385-392.
- Verdière N., Lanza V., Charrier R., Dubos-Paillard, E., Bertelle C., Aziz-Alaoui M.A., 2014, Mathematical modeling of human behaviors during catastrophic events, *Proceedings of ICCSA 2014 (International Conference on Complex Systems and applications)*, Normandie University, Le Havre, France, 23-26 juin 2014.
- Vermeiren E., 2007, « Psychologie des foules : éléments de compréhension et de prévention en situation de catastrophe collective », *Urgence*.
- Whyte A., 1978, *La perception de l'environnement : lignes directrices méthodologiques pour les études sur le terrain*, Notes techniques du MAB, Vol. 5, Paris, Unesco, 134 p.

NOTAS

1. Los autores señalan que utilizan tanto la palabra desastre como catástrofe de manera indiferente para asociar la problemática del riesgo por diferentes tipos de eventos y naturaleza. Se apoyan para utilizar estos dos términos como sinónimos, más allá que ellos señalan que sería posible diferenciarlos según los aportes de E.L. Quarantelli (2005). En esta traducción y considerando el español, se privilegiará utilizar desastre, puesto que es la palabra corrientemente utilizada y presenta una connotación diferente a la de catástrofe.

2. El MAB es un programa intergubernamental sobre el ser hombre (traducido de manera literal) y biosfera (Man and Biosphere) establecido por la UNESCO en 1969.
3. En su libro "La véridique histoire des compteurs à air", J.A. Cardon (2012) interpela a una pesadilla universal donde el aire se vuelve un producto económico, raro y costoso. Su consumo se reglamenta gracias a contadores de aire que, implementados noche y día en la espalda de los seres humanos, como un tumor en uno mismo, transforma el aire en un bien mercantil.
4. Para la traducción se utiliza razonados como sinónimo de racional.
5. Estos resultados son fruto de una investigación pluridisciplinaria llevada a cabo por geógrafos, matemáticos e informáticos en el contexto del Peps Humanité-Mathématiques-sciences de l'Information (HuMaIn) 2013 y 2014 financiada por el CNRS, área de interdisciplina.
6. Un comportamiento colectivo se entenderá en el sentido otorgado por L. Crocq (1994): "Estos comportamientos, similares o complementarios, se inician en una misma situación, interesan a toda la comunidad, están vinculados por su significación y presentan un carácter de conjunto que contrasta en relación a la disparidad de las ocupaciones individuales de la fase anterior."
7. Los autores en el texto original presentan esta clasificación.
8. Los tsunamis son capaces de generar daños en sectores de costas a miles de kilómetros del origen.
9. Los comportamientos inadaptados son aquellos que no constituyen la mejor respuesta lógica y racional a la situación (Crocq, 1994).
10. En la versión original los autores realizan esta afirmación y se mantiene tal sentido, pese a que en la teoría los tsunamis locales posibilitan una alerta de alrededor 15 minutos.
11. En el manuscrito original se utiliza « fonction de forçage ». Lo que se podría traducir como una función matemática que fuerza a. En efecto, la palabra « forçage », implica modificar los componentes de un sistema. Por lo tanto, se traduce como «fuerza» en este texto, en el contexto que es una función que fuerza al cambio.
12. El modelo de base de propagación de una epidemia se titula SIR, donde la S designa los individuos Susceptibles de ser afectados, I corresponde a aquellos que son Infectados y R los que son Recuperados y no pueden ser nuevamente infectados.
13. Cuyo nombre original en francés corresponde a Ingénierie de Sécurité Incendie.
14. En ciertas situaciones, los comportamientos de sideración pueden durar varios días.

RESÚMENES

La prevención del riesgo de desastre se ha convertido en los últimos 30 años en un desafío social de gran relevancia en los países desarrollados, debido principalmente al aumento de las pérdidas financieras, la distribución desigual de las pérdidas humanas a escala planetaria y una mediatización "catastrófica" de cualquier evento. Para reducir la vulnerabilidad que se ve enfrentada la población y los territorios, es posible apuntar a 3 ejes: Políticas de planificación, ingeniería civil y la capacitación a la población para adaptar sus comportamientos frente a una situación de desastre. Este artículo se centra en esta último, en efecto, es posible identificar comportamientos específicos de estas situaciones excepcionales gracias a investigaciones en Ciencias Sociales y Humanas. La mayoría de los casos, estos aportes se enfocan sobre la observación de las reacciones humanas que se producen posterior a un evento específico o analizan comportamientos típicos como saqueos o pánico. No es común que las investigaciones

consideren el avance del conocimiento en neurociencia el cual señala que posterior a un shock, los seres humanos pocas veces desarrollan solo un tipo de comportamiento; más bien, se está en presencia de una cadena de reacciones conductuales. Los primeros, instintivos y de corta duración, dan paso a reacciones razonadas según las regiones del cerebro que procesan la información. Es en tal marco, esta investigación multidisciplinar reúne a geógrafos, matemáticos e informáticos y presenta el panel de comportamientos humanos que pueden ocurrir posterior a un desastre y organizamos este conocimiento en forma de tipología. Este se estructura en dos ejes: las áreas cerebrales implicadas en las respuestas conductuales y las fases temporales del desastre. En apoyo de esta tipología, proponemos un modelo matemático que permite comprender estas reacciones individuales y colectivas en forma de secuencias de comportamiento y estudiar su modo de propagación. Se modelizan mediante ecuaciones diferenciales tres tipos de reacciones (denominados respectivamente: comportamiento reflejo, comportamiento de pánico y comportamiento controlado) y sus interacciones.

AUTORES

DAMIENNE PROVITOLO

Univ. Nice Sophia Antipolis, CNRS, IRD, Observatoire de la Côte d'Azur, Géoazur UMR 7329, Valbonne, France, Chargée de recherche CNRS, Damienne.provitolo@geoazur.unice.fr

EDWIGE DUBOS PAILLARD

Université Paris 1, Panthéon-Sorbonne, Géographie-Cités UMR 8504, Paris, France, Maître de Conférences, Edwige.Dubos-Paillard@univ-paris1.fr

NATHALIE VERDIÈRE

France, nathalie.verdiere@univ-lehavre.fr

VALENTINA LANZA

France, valentina.lanza@univ-lehavre.fr

RODOLPHE CHARRIER

France, rodolphe.charrier@univ-lehavre.fr

CYRILLE BERTELLE

France, cyrille.bertelle@univ-lehavre.fr

M.A. AZIZ ALAOU

France, aziz.alaoui@univ-lehavre.fr