

# Borrador SZ4D: Plan de Implementación

Una Nueva Iniciativa para Entender los Peligros Geológicos de las Zonas de Subducción

Autorizado por la Red de Coordinación de Investigación (RCN) de SZ4D

Comité ejecutivo:

Emily Brodsky, University of California, Santa Cruz

George Hilley, Stanford University

Diana Roman, Carnegie Institution

Harold Tobin, University of Washington

Correo electrónico: [excom@sz4d.org](mailto:excom@sz4d.org)

19 de Octubre de 2021

Traducción por:

Tamara Aranguiz, University of Washington

Valeria Cortés Rivas, Northern Arizona University

Kristin Morell, University of California, Santa Barbara

## **RESUMEN EJECUTIVO**

Nuestro planeta está en constante cambio. Algunos de estos cambios ocurren a través de millones de años a medida que la Tierra pierde continuamente su calor hacia el espacio. Algunos suceden en segundos, en horas o en días así como los terremotos sacuden la superficie terrestre, las erupciones volcánicas arrojan cenizas y rocas hacia la atmósfera y las laderas de las montañas son arrasadas por derrumbes. Estos abruptos eventos geológicos han afectado a la humanidad a través de la historia de maneras fundamentales. Los efectos devastadores provocados por los terremotos y tsunamis han quebrantado el cotidiano de sociedades enteras y han ocasionado la pérdida de cientos de miles de vidas tan solo en el último siglo. Grandes erupciones volcánicas han destruido ciudades antiguas y han alterado patrones del clima de tal manera que han llevado al fracaso de plantaciones y el declive de poblaciones, tanto en áreas cercanas como distantes. Los derrumbes han borrado pueblos y aldeas situadas en montañas, perjudicado la agricultura, bloqueado las rutas de transporte y afectado profundamente a poblaciones urbanas y rurales por igual. Muchos de estos peligros geológicos actualmente amenazan a centros urbanos cuya población es considerablemente mayor que en el pasado y que presentan infraestructura nueva y variada que es vital para la economía local, regional y global. Es posible que algunas de estas amenazas se intensifiquen a medida que nuestro planeta se siga calentando en las siguientes décadas.

### **JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA**

A pesar de la urgencia global para mitigar el riesgo de los peligros geológicos, aún hay una comprensión limitada acerca de los operadores fundamentales detrás de los terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas y derrumbes, lo que dificulta nuestra capacidad predictiva. Una nueva iniciativa impulsada por la comunidad científica busca abordar la necesidad de rellenar estos vacíos en nuestra comprensión de los peligros geológicos mediante la coordinación de la investigación de las características físicas y químicas fundamentales y procesos específicos de las zonas de subducción. Esta iniciativa, llamada Zonas de Subducción en Cuatro Dimensiones, o SZ4D por sus siglas en inglés, reúne a científicas y científicos que estudian terremotos, erupciones volcánicas, derrumbes y tsunamis. Se enfoca en zonas de subducción porque estas regiones geográficas brindan la oportunidad de investigar estratégicamente, y de forma simultánea, diferentes peligros en zonas de alto riesgo por eventos geológicos. Adicionalmente, la geometría de las zonas de subducción permite efectuar experimentos naturales y bien controlados, que pueden ser usados para aislar y estudiar factores clave en cómo operan los peligros geológicos.

### **DESARROLLO DEL PLAN DE IMPLEMENTACIÓN**

Los representantes de la comunidad de investigación de EE.UU que estudian fallas y terremotos, procesos volcánicos y procesos superficiales en zonas de subducción, conforman una Red de Coordinación de Investigación (RCN, por sus siglas en inglés). El SZ4D RCN está organizado en tres grupos de trabajo (Paisajes Terrestres y Marinos; Ciclos de Fallas y Terremotos; y Factores Magmáticos de Erupción) y dos grupos de integración (Construyendo

Equidad y Capacidad en las Geociencias, y Colaboración de Modelamiento para Subducciones) con un total de 74 miembros. A través de la combinación de reuniones, *workshops*, seminarios web y reuniones con comunidades locales, la RCN ha involucrado a más de 1600 participantes que colaborativamente han identificado las prioridades de la comunidad y las observaciones y mediciones clave que permitirían los avances científicos necesarios para mejorar nuestro entendimiento de los peligros geológicos para mitigar sus riesgos para la comunidad. El *Borrador SZ4D: Plan de Implementación* es el resultado preliminar de estas discusiones.

Los grupos de trabajo y los de integración han sintetizado los aportes de la comunidad e identificado las preguntas claves que la iniciativa SZ4D debería abarcar:

- ¿Cuándo y dónde se producen los grandes terremotos que son dañinos?
- ¿De qué forma los procesos transcorticales inician las erupciones en los arcos volcánicos?
- ¿De qué forma los eventos en la atmósfera, hidrósfera y tierra sólida de la Tierra generan y transportan sedimentos a lo largo de paisajes terrestres y marinos?
- ¿Qué fracción de la cuota de energía de una zona de subducción se destina a construir y dar forma a los paisajes terrestres y marinos de las zonas de subducción?
- ¿Cómo podemos transformar la mentalidad de la comunidad geocientífica para fomentar la educación, divulgación, accesibilidad, el desarrollo de capacidades, diversidad, equidad, inclusión y justicia social como componentes críticos para el éxito de la SZ4D y futuros esfuerzos científicos de la comunidad geocientífica?

En base a estas preguntas surgieron varios temas transversales. El más crítico gira en torno al pronóstico y predicción. Todos los estudios de peligros geológicos se esmeran en establecer las circunstancias bajo las cuales se puedan pronosticar eventos catastróficos. Ya es claro que se pueden anticipar algunas erupciones volcánicas si se tienen suficientes observaciones instrumentales disponibles. ¿Acaso la instalación de instrumentación adicional generaría mejores predicciones, o hay límites fundamentales para lo que los datos pueden decirnos?

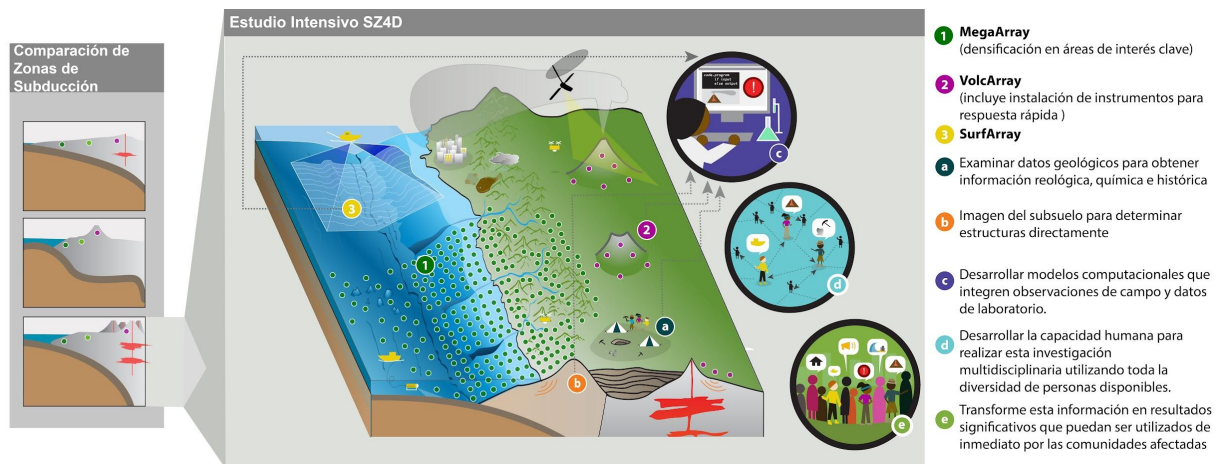
Nace una pregunta similar a partir del descubrimiento de los terremotos lentos previos a algunos, pero no todos, los terremotos de magnitud 8 o mayor: El problema en nuestra habilidad de predecir terremotos, ¿se debe a la complejidad fundamental del sistema o a la falta de instrumentación en las zonas críticas cerca de la falla sísmica? y ¿podemos anticipar el momento y escala de deslizamientos de tierra basándonos en la escasez de datos ambientales y topográficos o es un proceso intrínsecamente estocástico? Incluso si el pronóstico de estos eventos catastróficos mejorara lo suficiente para ser útil operacionalmente, queda la pregunta acerca de la eficacia en comunicar la información de estas predicciones. Por ejemplo, ¿pueden las entidades locales encargadas de las amenazas usar con éxito estos pronósticos para promover un apropiado accionar público y al mismo tiempo dejar claras las limitaciones de las predicciones? ¿Cómo podemos ayudar a garantizar equidad en la mitigación de los riesgos geológicos?

Además de las colaboraciones científicas, existen practicalidades que hacen más fructífero efectuar, en un esfuerzo coordinado, el estudio de diferentes peligros geológicos en un número

limitado de zonas de subducción en lugar de varios estudios separados. Con ello se sacaría provecho de colaboraciones, de la instrumentación, de la gestión de los datos, y de las actividades para el desarrollo de capacidades, lo que es mutuamente beneficioso y puede acelerar los avances científicos, algunos de los cuales no se pueden anticipar. En particular, un enfoque regional en común permitiría el desarrollo de asociaciones más integradas, el despliegue estratégico de infraestructura física y una acumulación de información en un mismo contexto que podría ser interpretada de forma multidisciplinaria.

## REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA

Para responder las preguntas planteadas por la RCN se requiere de nuevas observaciones tanto en tierra como bajo el agua. Afortunadamente, existe nueva tecnología que hace posible recolectar los datos de gran escala requeridos. Tres componentes clave de la infraestructura *in situ* de la SZ4D incluyen (**Figure ES-1**): (1) **un conjunto anfio de instrumentos geodésicos y sísmicos (MegaArray)** a gran escala y a largo plazo, con densificación en áreas de interés clave; (2) **arreglos volcánicos** estandarizados multi-componente (**VolcArray**); y (3) **un conjunto de arreglos de detección de cambios superficiales y ambientales (SurfArray)** que detecten cambios en la superficie terrestre y en la lluvia. Los tres arreglos aprovechan inversiones ya existentes, como la misión NASA-ISRO *Synthetic Aperture Radar* (NISAR), la que se identifica como una componente crítica que abarca todo SZ4D, y muchos otros ejemplos. Estas piezas de información sólo pueden ser significativas si las nuevas observaciones están acompañadas de estudios geofísicos coordinados, estudios geológicos, experimentos de laboratorio, modelación numérica, y programas de desarrollo humano para proveer contexto, todo lo cual requiere de apoyo.



**Figura ES-1.** Esquema de las principales matrices instrumentales y actividades de SZ4D

Se requiere de esfuerzos estratégicos y de recursos importantes para desarrollar maneras de transferir el conocimiento y entendimiento a las comunidades afectadas y para que estas los utilicen en la mitigación de riesgos. En este documento, el grupo de integración Construyendo Equidad y Capacidad en las Geociencias presenta un plan que incluye actividades específicas

que fomentarán el desarrollo internacional de capacidades, la equidad en el manejo de peligros, la justicia social, la educación y capacitaciones, una divulgación distribuida y la colaboración interdisciplinaria, y que todo esto aumente la diversidad, la equidad y la inclusión. El plan presenta un modelo de impacto colectivo que pretende fomentar un verdadero cambio cultural en los esfuerzos de investigación y garantizar resultados que sean relevantes para todas las comunidades.

## **FASE DE IMPLEMENTACIÓN Y CRONOGRAMA PREVISTO**

Las fases propuestas y las actividades de cada uno de los grupos de trabajo e integración tienen diferentes cronogramas (**Figura ES-2**). El *MegaArray* y el trabajo de los investigadores asociados comenzará a gran escala, para luego de cinco años identificar gradientes en las propiedades que indiquen los lugares más aptos para densificación de instrumentación. El *VolcArray* comenzará desarrollando y testeando la red de instrumentos en algunos volcanes, y luego se extenderá a un portafolio de aproximadamente 30 sistemas continuos para observaciones de largo plazo y seis sistemas claves para estudio de detalle. Los investigadores de paisaje terrestre y marino seguirán un método similar con el *SurfArray*, pero construirán un sistema pareado de experimentos en dos sitios con mediciones sistemáticas. Sin embargo, las actividades llevadas a cabo por componentes individuales dependen, en diferente medida, en datos que serán recolectados por otros componentes de SZ4D. Por lo tanto, el tiempo requerido para la recolección de datos debe ser emplazado de una manera que permita que los diferentes e independientes componentes del proyecto pueden ser ejecutados sin problemas a lo largo de la vida de SZ4D (esta interdependencia en las etapas se explica en la **Figura ES-2**).

## **SITIOS GEOGRÁFICOS**

El equipo RCN ha identificado una serie de sitios que podrían satisfacer las observaciones necesarias, tanto para impulsar preguntas científicas, como para entender la interacción entre los procesos que ocurren en zonas de subducción y generan peligros. Los miembros del equipo de trabajo recomendaron que los esfuerzos de SZ4D deben incluir un sitio en Los Estados Unidos y un sitio internacional, donde las características de ambos sean complementarias. Adicionalmente, los miembros del equipo concuerdan en que el desarrollo de la red internacional, que potencia investigación en paralelo realizada por otros países, es esencial para el éxito de la labor de SZ4D. Luego de considerar las necesidades de todas las comunidades representadas en los equipos de trabajo, el grupo RCN de SZ4D concluyó que la zona de subducción Chilena es un objetivo ideal como sitio internacional para SZ4D. Aunque no hay ningún sitio en particular que ofrezca cada uno de los atributos deseados desde todas las disciplinas en los peligros geológicos, Chile fue identificado como un área que se acerca mucho a esta condición. No obstante, los miembros de los equipos de trabajo, también acordaron en que esfuerzos de investigación ubicados en una variedad de lugares de zonas de subducción deben verse como un componente clave en la labor de SZ4D. Pues, son estos proyectos de menor escala los que proporcionarán mayor diversidad de participación y las

condiciones científicas necesarias para construir una visión generalizada de los peligros geológicos en zonas de subducción.

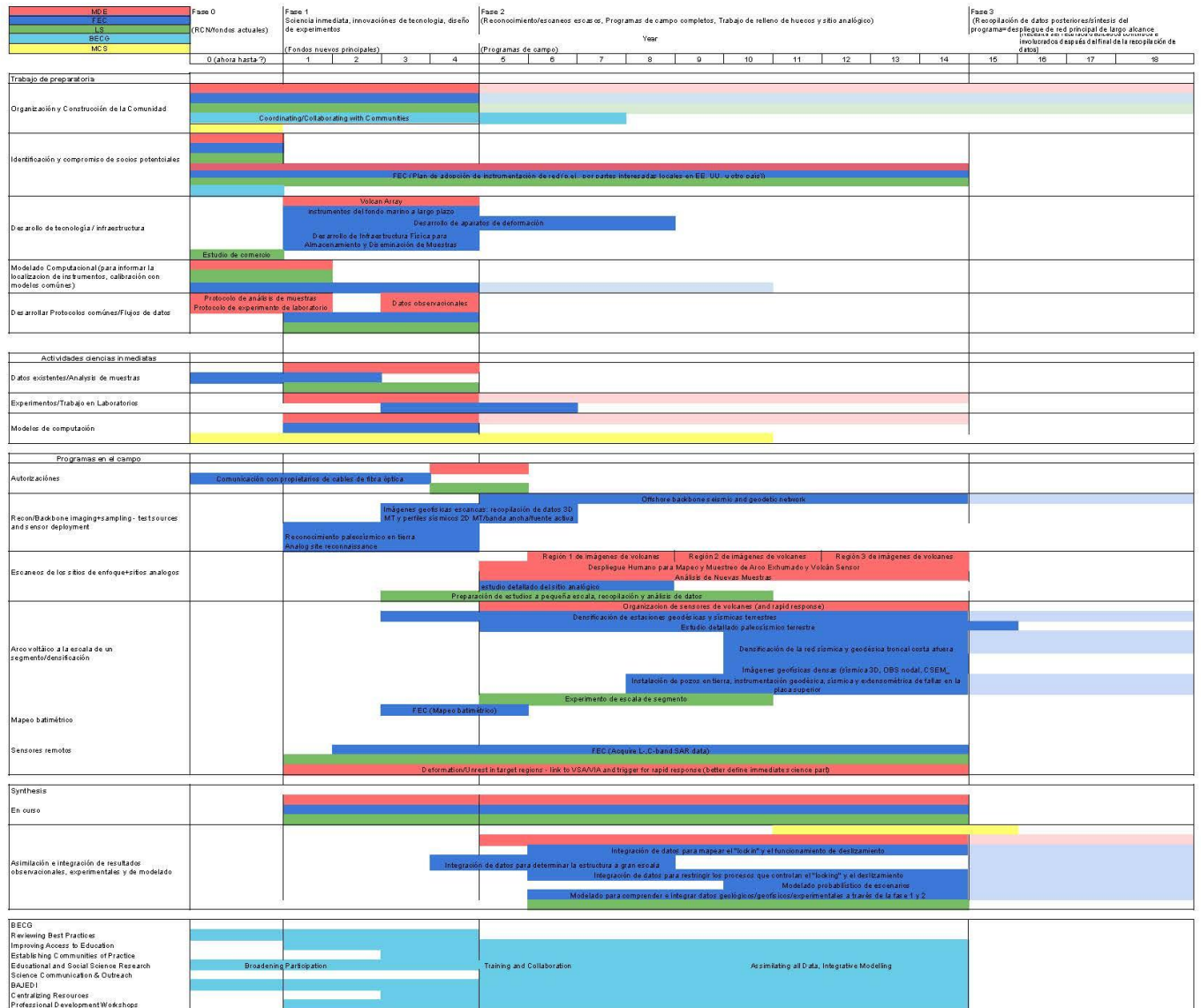


Figure ES-2. Proposed phases of SZ4D implementation.

## ORGANIZACIÓN Y GOBERNANZA DE SZ4D

Habilitar SZ4D requerirá inversión en varias áreas clave. En primer lugar, un esfuerzo integrado de SZ4D será más exitoso si un centro, instalaciones (nuevas y existentes) y un programa científico pueden coordinar la recopilación de datos, los estudios científicos y las actividades de impacto colectivo (**Figura ES-3**). La estructura prevista para la gestión central sería el **Centro SZ4D**, que sería supervisado por un Comité Directivo Central. Las responsabilidades del Comité serían supervisar la coordinación de las instalaciones (nuevas y existentes) responsables de la recopilación de la gran mayoría de datos; facilitar la integración científica de SZ4D y coordinar estos elementos con socios y otras partes interesadas; y orientar las labores hacia la equidad y la inclusión, maximizando el impacto colectivo de SZ4D.

Se requerirán cinco nuevas instalaciones, incluyendo: (1) **Instrumentación en alta mar**, incluidos los MegaArray y SurfArray. Este esfuerzo sustancial y nueva instrumentación en términos de alcance, incluyen soporte especializado para instrumentos sísmicos y geodésicos, recolección de batimetría de alta resolución, equipos de ingeniería operativa, y embarcaciones marinas (con tripulación y autónomas) para el despliegue, servicio y rápida respuesta cerca de los sitios de alta densidad de instrumentos. (2) **Instrumentación en tierra**, incluidos instrumentos en volcanes (VolcArray) con telemetría satelital para la recopilación de datos en tiempo real; redes de observación ambiental para la detección de deformación del paisaje (SurfArray); y la instalación de instrumentos para una respuesta rápida en regiones con poca infraestructura (MegaArray). (3) Logística e implementación de programas de terreno que involucran **despliegue de Recursos Humanos** como los principales instrumentos de observación para recolectar datos sistemáticos y estandarizados (p. ej., paleosismología, mapeo, muestras para geocronología, geoquímica y petrología). (4) Un **Colaboratorio de Modelamiento** para desarrollar nuevos modelos físicos de zonas de subducción y proporcionar recursos para su uso por parte de toda la comunidad de investigación SZ4D (estudiantes, postdoctorados, investigadores). (5) Un **Consorcio de Muestras y Laboratorio** para el estudio de las propiedades de los materiales, la reología durante la deformación y los equilibrios de fase de los sistemas de fusión. Las actividades de estas nuevas instalaciones serían coordinadas entre sí y con las instalaciones existentes por la Oficina del Director Ejecutivo del Centro SZ4D, cuyas actividades de gestión serían definidas y supervisadas por el Comité Directivo Central. También anticipamos que pueden surgir necesidades de datos que no están definidas al comienzo de las nuevas instalaciones de SZ4D, por lo que hemos diseñado un mecanismo de Recopilación de Datos Críticos para dirigir los recursos a las instalaciones y entidades apropiadas en caso de que se deban recopilar datos novedosos rápidamente.

Además, para garantizar que cada instalación tenga fácil acceso a la experticia científica y que cuyas prioridades puedan alinearse con los objetivos científicos, se establecerá una serie de comités de supervisión para proporcionar gobernanza a las nuevas instalaciones. Se desarrollará una lista de candidatos para estos comités mediante un proceso de autonominación inclusiva para así garantizar una amplia representación. Luego, los candidatos serán seleccionados por los miembros del Comité Directivo Central por un periodo fijo. La coordinación entre los comités de supervisión y el Comité Directivo Central se llevará a cabo mediante representación directa en el Comité Directivo Central, como también a través de miembros seleccionados desde el proceso de autonominación durante periodos fijos.

El componente final previsto para la Iniciativa SZ4D es un **Programa Científico** parte de NSF, que permita identificar y posibilitar investigación científica emergente con relevante impacto para SZ4D, utilizando un panel de revisión basado en méritos. Comunicación constante entre el programa científico y el Comité Directivo Central de SZ4D ayudará a coordinar la recopilación de datos e identificar prioridades científicas a lo largo de la duración del programa. El triple enfoque propuesto aquí maximizará el impacto científico y social de la iniciativa SZ4D y ayudará a capacitar a la próxima generación de investigadores geocientíficos estudiando las múltiples amenazas existentes en zonas de subducción.